



UNIVERSITE D'ANTANANARIVO
ECOLE SUPERIEURE DES SCIENCES AGRONOMIQUES
DEPARTEMENT DES EAUX ET FORETS

MEMOIRE DE FIN D'ETUDES

En vue de l'obtention du Diplôme D'Etudes Approfondies
Option Foresterie- Développement-Environnement

Promotion VOARY

Année 2012- 2013

ETUDE DE L'IRREGULARITE DE PRODUCTION CHEZ LE GIROFLIER A MADAGASCAR

Présenté par Joyce Tina Irène RAZAKARATRIMO

Soutenu le 23 Décembre 2014

Devant le jury composé de :

Président :	Pr. RANDRIAMBOAVONJY Jean-Chrysostome
Rapporteur :	Dr NORMAND Frédéric
Examineurs :	Dr RABENILALANA Mihajamanana Dr RABEMANANJARA Zo



UNIVERSITE D'ANTANANARIVO
ECOLE SUPERIEURE DES SCIENCES AGRONOMIQUES
DEPARTEMENT DES EAUX ET FORETS

MEMOIRE DE FIN D'ETUDES

En vue de l'obtention du Diplôme D'Etudes Approfondies
Option Foresterie- Développement-Environnement

Promotion VOARY

Année 2012- 2013



ETUDE DE L'IRREGULARITE DE PRODUCTION CHEZ LE GIROFLIER A MADAGASCAR

Présenté par Joyce Tina Irène RAZAKARATRIMO

Soutenu le

Devant le jury composé de :

Président :	Pr. RANDRIAMBOAVONJY Jean-Chrysostome
Rapporteur :	Dr NORMAND Frédéric
Examineurs :	Dr RABENILALANA Mihajamanana
	Dr RABEMANANJARA Zo





PRESENTATION DES PARTENAIRES

Cette étude est le résultat d'un partenariat entre plusieurs entités dont :

- L'Unité Hortys du Cirad : dans le cadre des activités scientifiques portant sur la connaissance du fonctionnement des plantes et de l'élaboration du rendement.
- Le Dispositif prioritaire « Forêts et Biodiversité » pour la thématique abordée : « Les systèmes agroforestiers malgaches à base de girofliers. »

L'objectif général de ce partenariat est de comprendre fonctionnement agroécologique et le processus d'adoption des innovations pour une sécurisation des filières et une durabilité des agro-systèmes. Il s'inscrit dans l'axe de recherche n°3 : « Identifier les déterminants spécifiques, écologique, phénologique et post-récolte de la qualité et du rendement. »

Cette étude intègre également le Projet EUROPAID - AFS 4 FOOD « Agroforestry for Food », déposé par le CIRAD à l'Union Africaine qui vise à améliorer la sécurité alimentaire et le bien-être des ménages ruraux africains par l'amélioration de la synergie entre les cultures vivrières et les systèmes agroforestiers pérennes.

Ce travail a bénéficié de l'accueil et des moyens logistiques du CTHT Centre Technique Horticole de Tamatave.

A mon père,

REMERCIEMENTS

Je tiens à remercier tous ceux qui ont contribué à la réalisation de ce mémoire et qui par leurs aide, soutien et conseils ont « laissé leur empreinte » dans ce mémoire.

Je tiens à présenter ma gratitude à toutes les entités grâce à qui cette étude a vu le jour : l'Université d'Antananarivo, l'ESSA, le CIRAD, le Projet AFS4FOOD, le Projet Ecohort du Consortium Agreeonium et le CTHT.

J'exprime toute ma gratitude à :

Monsieur Jean-Chrysostome RANDRIAMBOAVONJY, qui a fait l'honneur de présider cette soutenance.

Monsieur Frédéric NORMAND : son dévouement inconditionnel à l'encadrement de cette recherche, sa disponibilité permanente et ses encouragements continus m'ont donné la force d'aller jusqu'au bout.

Madame Mihajamanana RABENILALANA et Monsieur Zo RABEMANANJARA qui ont accepté d'examiner ce travail et qui par leurs remarques pertinentes, ont contribué à l'amélioration de ce mémoire.

Monsieur Michel JAHIEL : son aide précieuse, sa patience, sa confiance et son soutien logistique m'ont permis d'aller au bout de cette recherche.

Je remercie Monsieur Bruno Salomon RAMAMONJISOA, Professeur d'Enseignement Supérieur et de Recherche à l'Ecole Supérieure des Sciences Agronomiques (ESSA), Chef de Département des Eaux et Forêts à l'ESSA, pour m'avoir prodigué de précieux conseils et directives lors de la réalisation de ce mémoire.

Je remercie aussi tout le personnel enseignant et administratif de l'Ecole Supérieure des Sciences Agronomiques et du Département des Eaux et Forêts pour l'éducation et les connaissances que j'ai pu acquérir au sein de cet établissement lors de la formation en DEA, ainsi que tous mes collègues de la promotion VOARY.

Un grand merci à toute l'équipe du CTHT Tamatave, qui a grandement facilité les descentes sur terrain, en particulier Fransisco VELONJARA pour son aide inestimable et son dévouement sur le terrain, Yvon RASOLOFO et Heritiana RABEMANANJARA pour mise en place du dispositif et le lancement de l'étude, Fatima pour son aide précieuse au niveau des démarches administratives.

Je remercie Mr Nary DISAINE qui a coopéré en prêtant sa parcelle à Tamatave et Mme Marie Viviane RAPOLA et toute sa famille qui ont permis l'utilisation de leur parcelle et accueilli à bras ouverts lors des séjours à Fénériver-Est.

Je remercie ma famille : Maman, Steph et Neny et ma belle-famille qui n'ont jamais cessé de m'encourager, je remercie mon mari Fenitra qui a été mon soutien pour ce travail.

Merci à ceux qui m'ont apporté une quelconque aide et à qui je demande leur indulgence de n'avoir pu tous les citer.

Joyce RAZAKARATRIMO

FAMINTINANA

Ny famantarana ny antony mahatonga ny fiovaovan'ny famoazana eo amin'ny jirofo no tanjona napetraka tamin'ity asa ity. Miteraka voka-dratsy maro eo anivon'ny toe-karena malagasy ity fiovaovan'ny famoazana ity : na eo amin'ny mpamokatra, na eo amin'ny mpanondrana. Mbola tsy fantatra mazava nefa ny anton'izany. Ny fanontaniana napetraka dia ity manaraka ity : inona avy ny antony mahatonga ny ny fiovaovan'ny famoazana eo amin'ny jirofo ? Nohalalinina tamin'izany ny mety ho vokatry ny toetr'andro, ny toeram-pambolena sy ny toetra manokan'ilay hazo. Tany Toamasina sy Fenoarivo Atsinanana no nanaovana ny andrana sy ny fandinihana. Nivoitra tamin'ity asa ity fa misy vokany eo amin'ny famoazan'ny jirofo ny toetr'andro : ny hafanana sy ny filatsahan'ny orana amin'ny fotoana sy habetsahany voafaritra no mety amin'ny jirofo. Ny toetra manokan'ilay hazo ihany koa dia manana anjara amin'izany famoazana izany. Vao dingana voalohany ity asa ity ka mila tohizana mandritra ny taona vitsivitsy mba hitomboan'ny fahalalana mikasika ny jirofo.

Teny manan-danja : jirofo, famoazana, hafanana, latsak'orana, toetra manokan'ny hazo, Toamasina, Fenoarivo Atsinanana.

RESUME

Cette présente étude s'est fixée pour objectif de déterminer les causes de l'irrégularité de production chez le giroflier. Cette irrégularité est un phénomène qui affecte l'économie malgache sur plusieurs niveaux : du producteur à l'exportateur. Les déterminants en sont encore inconnus. La problématique posée a été de déterminer quels étaient les facteurs qui provoquaient une irrégularité de production. L'influence des facteurs externes dont le climat et la zone de plantation et celle des facteurs propres à la plante ont été pris en compte. Pour cela, les dispositifs ont été établis sur deux sites de la côte-est : Tamatave et Fénérive-Est. Ils ont visé à caractériser l'irrégularité de production et à étudier l'effet de différents facteurs sur la croissance et le développement des organes du giroflier. De cette étude ressort que les facteurs externes ont une influence sur la floraison du giroflier, cet arbre préférant les températures élevées et un climat humide avec des seuils de pluviométrie donnés pour certaines périodes. Les facteurs internes à la plante jouent aussi un rôle dans la succession des floraisons en tenant compte des réserves de l'arbre. Cette étude n'est qu'un début et pour analyser de façon approfondie l'irrégularité de production, elle doit être menée sur quelques années de plus.

Mots- clés : giroflier, floraison, température, pluviométrie, facteurs endogènes, Tamatave, Fénérive-Est

ABSTRACT

This study was set to determine the causes of the irregularity of the clove tree production. This irregularity is a phenomenon that affects the Malagasy economy on several levels: from producer to exporter. The determinants are still unknown. The posed problem was to determine what were the factors that caused irregularity of production. The influence of external factors including climate and planting area and endogenous factors were taken into account. To do this, experimentations have been established on two sites: Tamatave and Fenerive-Est. They aimed to characterize the irregularity of production and to study the effect of different factors on growth and development of the organs of the clove tree. This study shows that external factors have an influence on the flowering of the clove tree, this tree preferring temperatures and a humid climate with given rainfall thresholds for certain periods. Internal plant factors also play a role in the succession of flowering taking into account the reservations of the tree. This study is just the beginning and to analyze in depth the irregularity of production, it must be conducted on a few more years.

Keywords : clove tree, flowering, temperature, rainfall, endogenous factors, *Toamasina*, *Fenoarivo Atsinanana*.

SOMMAIRE

1. INTRODUCTION	1
2. PROBLEMATIQUE ET HYPOTHESES.....	3
2.1. Problématique.....	3
2.2. Hypothèses	7
2.3. Objectifs	8
3. METHODOLOGIE.....	9
3.1. Milieu d'étude	9
3.1.1. Localisation géographique des expérimentations.....	9
3.1.2. Milieu physique	10
3.2. Dispositif expérimental	12
3.2.1. Acquisition des données climatiques.....	12
3.2.2. Etude du développement et de la croissance des rameaux de girofliers	14
3.2.3. Caractérisation de l'irrégularité de production.....	17
3.2.4. Cadre opératoire	20
4. RESULTATS	22
4.1. Données climatiques.....	22
4.1.1. Pluviométrie	22
4.1.2. Température.....	22
4.2. Etude du développement et de la croissance des rameaux de girofliers	24
4.2.1. Stades phénologiques	24
4.2.2. Croissance des feuilles	28
4.2.3. Croissance des axes	31
4.3. Caractérisation de l'irrégularité de production	33
4.3.1. Influence du site	33
4.3.2. Influence de la zone de plantation	34
4.3.3. Influence de l'année	35
4.3.4. Analyse des productions individuelles	37
5. DISCUSSION.....	41
5.1. Etude du développement et de la croissance des rameaux de girofliers.....	41
5.1.1. Stades phénologiques	41
5.1.2. Croissance des organes du giroflier	42
5.2. Caractérisation de l'irrégularité de production.....	43
5.2.1. Analyse des productions individuelles	43
6. CONCLUSION.....	45
7. BIBLIOGRAPHIE	46

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1: Classification de l'estimation de l'intensité de floraison des girofliers.....	18
Tableau 2: Classes d'évolution du comportement florifère des girofliers entre 2012 et 2013	19
Tableau 3: Cadre opératoire de la recherche	20
Tableau 4: Pluviométrie à Tamatave et Fénérive Est de Septembre à Novembre en 2012 et 2013	43

LISTE DES FIGURES

Figure 1: Quelques photos de présentation du giroflier. a) giroflier, b) inflorescence et boutons floraux, c) clous de girofle secs, d) antofles, e) feuilles jeunes et matures	3
Figure 2: Evolution des exportations de clous de girofle de Madagascar depuis 1900.....	5
Figure 3: Précipitations mensuelles moyennes sur 30 ans à Tamatave	10
Figure 4: Précipitations mensuelles moyennes sur 30 ans à Fénérive-Est	10
Figure 5: Températures mensuelles minimum, moyennes et maximum pour Tamatave (données sur 5 ans)	11
Figure 6: Températures mensuelles minimum, moyennes et maximum pour Fénérive-Est (données sur 5 ans)	11
Figure 7: Pluviométrie moyenne mensuelle sur les sites de Tamatave et Fénérive-Est durant 21 mois.....	22
Figure 8: Températures moyennes mensuelles sur les deux sites durant 21 mois.....	23
Figure 9: Températures moyennes mensuelles minimales et maximales sur les 2 sites durant 21 mois.....	23
Figure 10: Stades phénologiques végétatifs du giroflier	25
Figure 11: Stades phénologiques reproducteurs du giroflier.....	27
Figure 12: Exemples de courbe d'évolution de la surface d'une feuille : (a) en été, (b) en hiver	29
Figure 13: Exemples de courbes de croissance des feuilles: (a) en longueur pendant l'été, (b) en longueur pendant l'hiver, (c) en largeur pendant l'été, (d) en largeur pendant l'hiver	30
Figure 14: Vitesses moyennes de croissance en surface des feuilles selon la saison. Les barres verticales indiquent \pm l'écart-type	31
Figure 15: Exemple de courbe de croissance en longueur en fonction du temps.....	31
Figure 16: Exemple de croissance de la longueur en fonction du nombre de nœuds.....	32
Figure 17: Distribution de l'intensité de floraison des girofliers pour les 2 sites sur 2 ans (2012 et 2013).....	33
Figure 18: Distribution de l'intensité de floraison des girofliers pour les 2 sites en 2012	34
Figure 19: Distribution de l'intensité de floraison des girofliers pour les 2 sites en 2012	34
Figure 20: Distribution de l'intensité de floraison des girofliers selon leur zone de plantation à Fénérive-Est en 2012. BF : bas-fond ; TNT : tanety.	35

Figure 21: Distribution de l'intensité de floraison des girofliers sur 2 ans à Fénérive-Est	36
Figure 22: Distribution de l'intensité de floraison des girofliers sur 2 ans à Tamatave	36
Figure 23: Distribution des classes d'évolution du comportement florifère de chaque arbre entre 2012 et 2013, global sur chacun des deux sites (FLO : arbre florifère (classes 2-6) ; NF : arbre non-florifère (classe 1))	37
Figure 24: Relations entre l'intensité de floraison sur chaque arbre en 2012 et en 2013 sur les deux sites. Un bruit aléatoire a été ajouté aux données afin de rendre visibles tous les points.....	38
Figure 25: Relations entre l'intensité de floraison sur chaque arbre entre 2012 et en 2013 à Tamatave. Un bruit aléatoire a été ajouté aux données afin de rendre visibles tous les points visibles.....	39
Figure 26: Relations entre l'intensité de floraison sur chaque arbre en 2012 et en 2013 à Fénérive. Un bruit aléatoire a été ajouté aux données afin de rendre visibles tous les points.....	40

LISTE DES CARTES

Carte 1: Localisation des zones d'étude	9
---	---

LISTE DES PHOTOS

Photo 1: Pluviomètre à lecture directe	13
Photo 2: Capteur de température Thermobiolab dans un abri météo	13
Photo 3: Capteur de température Tinytag dans un abri météo	14
Photo 4: Abri météo sur le site de Fénérive-Est.....	14

1. INTRODUCTION

Le giroflier *Syzygium aromaticum* (L.) Merr. & Perry, de la Famille des Myrtaceae, est un arbre originaire des îles Moluques, en Indonésie. En malgache, il est appelé « jirofo » ou « karafoy ». Le giroflier retrouve toutes les conditions favorables à sa culture sur la côte Est malgache. Deux produits sont obtenus à partir du giroflier : les clous de girofle et l'huile essentielle de girofle. Les clous de girofle sont des boutons floraux cueillis avant leur épanouissement et séchés par la suite. Ces clous de girofle sont des épices utilisés dans l'art culinaire et dans les industries agro-alimentaires. Connu également pour ses propriétés antiseptiques et anesthésiques, il est aussi utilisé dans le domaine médical, en parfumerie et dans l'industrie cosmétique. La plus grande partie de la production mondiale de clous de girofle, dont la majeure partie de la production indonésienne, sert à la fabrication des cigarettes traditionnelles indonésiennes « Kretek », composées d'un mélange de tabac et de girofle (Teusher, 2005). Le second produit issu du giroflier, l'huile essentielle de girofle, est obtenue par distillation des clous, des griffes et des feuilles de giroflier. L'huile essentielle de girofle est demandée sur le marché mondial pour sa richesse en eugénol. L'eugénol est une molécule connue pour ses propriétés antibactérienne, insecticide, antiseptique, analgésique et anesthésique (Teusher, 2005 ; Chaieb et al, 2007). Il sert également de matière première à l'hémi-synthèse de la vanilline (Kumar, 2012).

Madagascar est le deuxième producteur mondial de girofle après l'Indonésie avec une production annuelle oscillant entre 8000 et 15000 tonnes et est le premier exportateur mondial (BCM, 2010). Parmi les productions agricoles, le girofle est actuellement la première source de devises pour Madagascar (FAOSTAT, 2014). Une infime partie des clous de girofle malgaches de bonne qualité est destinée au petit marché des épices en Europe et en Inde. La majorité des clous de Madagascar, de qualité inférieure et dite « tout-venant », est absorbée par le marché Indonésien pour la fabrication des « Kretek ». Si auparavant l'Indonésie importait directement le girofle, cette matière première transite désormais par Singapour, qui la réexporte vers l'Indonésie. Le cours du girofle et la demande au niveau mondial fluctuent en fonction de la production indonésienne, ce pays étant le premier producteur mondial (Jahiel, 2010). Au niveau national, le girofle représente la principale culture de rente dans la Région Analanjirofo, à la fois en termes de revenus, et d'un point de vue symbolique pour les producteurs (Demangel, 2011). Sa vente permet de compléter, par des achats de riz, la production vivrière. Le girofle fait vivre près de 60000 ménages sur la côte Est (Michels et al., 2011).

Bien que vivant une « success story » à Madagascar (Danthu et al., 2014), le girofle fait face aux problèmes de vieillissement des plantations et de diminution de la qualité, et à une forte dépendance par rapport au marché indonésien. Il est également sujet à un problème agronomique majeur : l'irrégularité de production. Ce phénomène se caractérise par des années de forte production

de clous dites années « on » et des années de faible production de clous, dites années « off ». L'irrégularité de production est un phénomène répandu chez beaucoup d'espèces fruitières tempérées et tropicales. Ses conséquences sont à la fois quantitatives en termes de volume de production, qualitatives en termes de qualité des fruits qui est en général en relation négative avec la charge en fruits de l'arbre, et économiques en lien avec les deux points précédents. Ses causes sont en général différentes pour chaque espèce (Monselise et Goldschmidt, 1982 ; Goldschmidt, 2005) et sont encore inconnues pour le giroflier.

Ce travail est une première étape pour l'étude des déterminants de l'irrégularité de production chez le giroflier. Il tient compte de l'influence de facteurs externes et internes à la plante sur cette irrégularité de production. Pour ce faire, des expérimentations ont été menées à différentes échelles allant de la parcelle à l'organe de l'arbre en considérant l'effet des différents facteurs sur la production.

2. PROBLEMATIQUE ET HYPOTHESES

2.1. Problématique

Le giroflier est également connu sous les noms de: *Caryophyllus aromaticum* L., *Eugenia aromatica* (L.) Baill. *Eugenia caryophyllata* Thunb., *Eugenia caryophyllus* C. Spreng, Bull. & Harr., *Jambosa caryophyllus* (Spreng.) Nied., et *Myrtus caryophyllus* Spreng. C'est un arbre avec un houppier de forme conique. Sa hauteur moyenne varie de 10 à 12 mètres et peut atteindre 20 mètres. Son tronc est gris clair et d'aspect ridé. Les feuilles du giroflier sont coriaces, persistantes, pétiolées, ovales à lancéolées. La phyllotaxie est opposée décussée. Les jeunes feuilles ont une couleur rougeâtre à rosée qui devient vert foncé quand elles atteignent l'âge adulte (Figure 1). Ces feuilles sont aromatiques et dégagent une forte odeur de girofle au froissement. Les fleurs sont regroupées en cymes terminales de 20 à 25 fleurs. Les axes ramifiés des inflorescences sont appelés griffes. Le fruit, appelé antofle, est une drupe ellipsoïde brun violacée, contenant une seule graine d'environ 1,5 cm de long (Ghédira et al., 2010).



Figure 1: Quelques photos de présentation du giroflier. a) giroflier, b) inflorescence et boutons floraux, c) clous de girofle secs, d) antofles, e) feuilles jeunes et matures

Le giroflier a besoin d'un climat chaud et humide, sans saison sèche trop prolongée. Il se développe dans des régions de basse altitude, jusqu'à 300 mètres (Maistre, 1955). Toutes ces conditions sont réunies sur la côte Est malgache. Le giroflier est peu exigeant pour ce qui est de la qualité du sol mais il se développe mieux sur un sol fertile à compacité moyenne. Il est sensible aux excès d'eau dans le sol. Il craint les sols salés et sableux, mais s'adapte aux sols ferralitiques tropicaux

désaturés (François, 1928). Il n'aime pas les terrains trop légers à cause de son système racinaire superficiel. Malgré sa sensibilité aux vents, il a réussi à s'adapter à la côte orientale malgache qui est une zone de prédilection des cyclones (Donque, 1975). Le giroflier est une culture peu exigeante qui ne requiert pas beaucoup d'entretien, à part le désherbage, principalement manuel, autour des jeunes arbres ou lorsque la parcelle est embroussaillée. A Madagascar, les arbres ne sont ni fertilisés, ni irrigués. Le semis est le mode de propagation du giroflier (François, 1936). On peut également replanter des plantules issues des antofles tombées à terre. Le principal ennemi du giroflier est *Chrysotipys mabilianum* (ou "andretra" en malgache) : un lépidoptère dont la chenille pénètre par l'extrémité des rameaux, creuse petit à petit des galeries dans les branches et dans le tronc, entraînant un dessèchement des rameaux ou des branches.

Plusieurs versions sont avancées sur l'introduction du giroflier à Madagascar. La première version indique que les premiers plants introduits à Madagascar ont pour origine les plants dérobés par Pierre Poivre pour le compte de la Compagnie des Indes sur l'île d'Amboine en 1753. Les Hollandais avaient concentré la production sur cette île indonésienne afin de garder le monopole de cette épice. Suite à cette expédition, le giroflier a été acclimaté à l'île Maurice, puis à l'île de La Réunion et enfin à Madagascar. Les autres versions qui relatent son introduction à Madagascar énoncent les objectifs d'acclimatation de l'espèce en vue de la création d'un jardin botanique et d'établissement de concessions coloniales. Cependant, ces versions concourent en ces points communs : le giroflier, en provenance de l'île de La Réunion, a d'abord été introduit à l'île Sainte Marie au 19^{ème} siècle. Sa culture a ensuite été étendue sur la Grande Ile par les Français au cours de la période coloniale où elle a été développée sur toute la côte orientale malgache. Aujourd'hui, la zone giroflière s'étend sur 80000 hectares et couvre quatre régions du nord au sud : Analanjirofo, qui signifie forêt de girofliers, Atsinanana, Vatovavy Fitovinany et Atsimo Atsinanana. Les principales zones productrices sont Mananara, Soanierana Ivongo et Fenoarivo Atsinanana (Ledreux, 1928 ; Maistre, 1955 ; Michels et al., 2011).

Le giroflier commence à fleurir vers l'âge de 5 ou 6 ans mais cette production n'est pas encore appréciable. La première production exploitable se produit vers 8-10 ans. La pleine production (production optimale) est atteinte à la vingtième année de l'arbre et continue jusqu'à ses 75 ans. (François, 1936). Les clous de girofle sont bons à cueillir dès la mi-octobre (François, 1928). La récolte est active en octobre et novembre et elle s'achève fin décembre. Les dates de récolte sont différentes selon chaque zone productrice, la maturité des clous pour ces zones n'étant pas synchrone (Ledreux, 1928). Les clous de girofle sont récoltés dès qu'ils sont légèrement rosés. A ce moment, les bourgeons floraux sont bien développés mais non épanouis. S'ils sont récoltés épanouis, cela donne des clous sans tête (c'est-à-dire sans les pétales fermés formant une boule à l'extrémité du clou), de qualité inférieure sur le marché. Le rendement du giroflier varie en fonction de son âge et de sa hauteur. Vers 10-12 ans, il donne une production moyenne de 3 kg de clous frais ; vers 30-40 ans, il

peut donner un rendement de 30 kg de clous frais par arbre (François, 1928) et pour certains arbres plus vieux, la production peut atteindre 60 kg (Ledreux, 1928).

Le giroflier fleurit irrégulièrement. Joseph Hubert, en 1784, déplorait déjà l'irrégularité de la floraison. Il écrivait alors: « le giroflier est un arbre capricieux, inégal, qui ne donne en général une bonne récolte que tous les trois ou quatre ans » (François, 1936). D'après Dufournet (1968), le giroflier présente un cycle de production triennal avec une première année de forte récolte, une deuxième année de récolte moyenne et une troisième de faible récolte. Ce cycle est variable et peut aller jusqu'à 4 à 5 ans (Maistre, 1964 ; Ramanantsoavina, 1971). Les plantations connaissent des années d'abondance suivies d'années à peu près privées de récolte (François, 1936). A l'échelle du pays, la production de clous est extrêmement variable selon les années et les exportations d'une année peuvent refléter la production de l'année précédente car les clous de girofle peuvent être stockés et vendus l'année suivante (Figure 2). Durant la période 1949 à 1966, il a eu enregistrement de 7 années de bonne récolte (supérieures à 5000 tonnes), 5 années de récolte moyenne (3000 à 5000 tonnes) et 6 années de faible récolte (moins de 3000 tonnes). Les écarts de production sont importants : 1966 a été une année de très faible récolte pour Madagascar avec une production de 1000 tonnes pour tout le pays ; l'année suivante, la production est passée à 12000 tonnes (Dufournet, 1968). Selon les statistiques de l'époque, les meilleures récoltes sont fréquemment suivies de cueillettes médiocres et, réciproquement, aux plus mauvaises récoltes succèdent assez souvent de bonnes productions. Depuis 1900, pas de pattern d'irrégularité particulier n'a pu être observable à l'échelle de la production du pays.

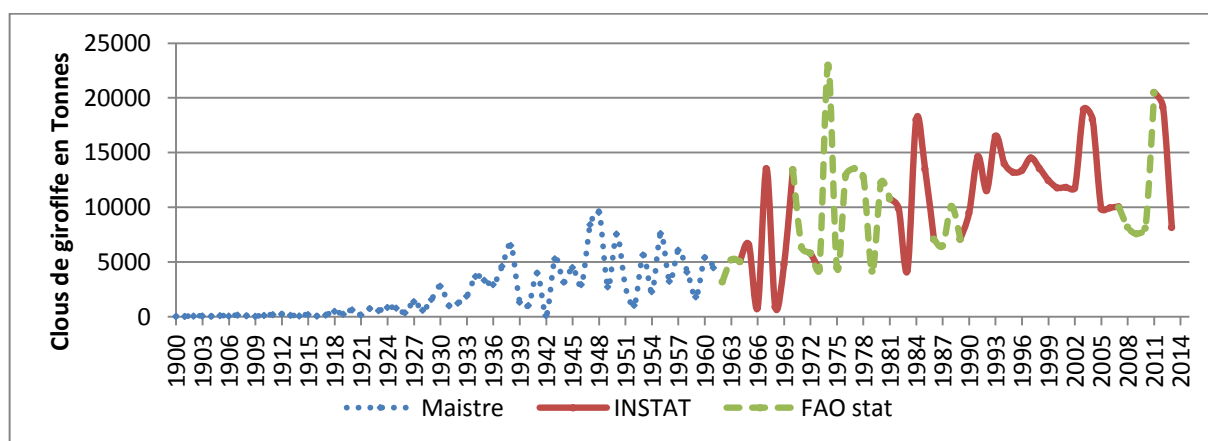


Figure 2: Evolution des exportations de clous de girofle de Madagascar depuis 1900

Sources : Maistre, 1964 (1900-1962) ; INSTAT (1964-2013) ; FAO stat (1962-2010)

Le phénomène d'irrégularité de production chez les arbres fruitiers cultivés est provoqué par deux types de facteurs : les facteurs qui déclenchent l'irrégularité, qui sont des facteurs en général environnementaux, mais aussi endogènes, et les facteurs qui entretiennent cette irrégularité, qui sont principalement des facteurs endogènes (Monselise et Goldschmidt, 1982 ; Goldschmidt, 2005).

L'action des facteurs déclencheurs se caractérise de deux façons (Lavee, 1996). Premièrement, il y a une irrégularité de production qui se développe et s'amplifie au cours du temps. Elle est en relation avec l'augmentation annuelle de rendement pendant les premières années de fructification. Ce type d'irrégularité est propre à chaque arbre et au sein d'un même verger, il peut y avoir des arbres en année « on » et des arbres en année « off », ce qui donne une production annuelle plutôt régulière à l'échelle du verger. Deuxièmement, l'irrégularité de production peut se manifester suite à un évènement extérieur particulier au moment de la floraison ou de la croissance des fruits, le plus souvent climatique ou occasionnellement dû à des maladies. Cet évènement provoque une chute de rendement marquée qui est synchronisée à l'échelle d'un verger, voire à l'échelle d'une région. Cette chute de rendement est suivie par une récolte importante l'année suivante, déclenchant ainsi l'irrégularité de production.

Les facteurs qui entretiennent l'irrégularité de production sont des mécanismes endogènes qui perpétuent les conditions favorables à des cycles « on/off » de production. Trois mécanismes sont généralement invoqués. En premier lieu, il peut y avoir une restriction du nombre de sites potentiellement florifères. Suite à une année de bonne production, la croissance végétative au cycle suivant est faible, réduisant ainsi le nombre de sites potentiellement florifères au cycle suivant (Plumer et al., 1989 ; Neilsen et Dennis, 1998 ; Dambreville et al., 2013). En second lieu, il peut s'agir d'un contrôle hormonal : les hormones des plantes sont des régulateurs des processus de développement, dont la floraison. C'est le cas de la gibbérelline : des gibbérellines produites par les fruits en croissance peuvent inhiber l'induction florale pour l'année suivante lorsque cette induction florale est concomitante à la croissance des fruits. C'est une hypothèse très forte chez le pommier par exemple (Pharis et King, 1985 ; Goldschmidt et al., 1997 ; Goldschmidt et Samach, 2004). Et en troisième lieu, il y a le contrôle au niveau de la nutrition carbonée : les efforts fournis pour la reproduction lors d'une année de forte récolte conduisent à un épuisement des réserves carbonées (Goldschmidt et Golomb, 1982) et des éléments minéraux (Golomb et Goldschmidt, 1987), qui deviennent insuffisants pour la prochaine floraison. Plus récemment, des travaux sur des espèces tropicales et tempérées ont montré que des facteurs architecturaux peuvent affecter la floraison et la production, à travers notamment des interactions marquées entre croissance végétative et reproduction (Lauri et Trottier, 2004 ; Normand et al., 2009 ; Gaaliche et al., 2011 ; Dambreville et al., 2013).

Peu de recherches ont été menées sur l'irrégularité de production chez le giroflier jusqu'à présent. François mentionnait en 1936 l'importance de la pluviométrie sur la floraison : une forte pluviométrie pendant les quelques semaines avant l'apparition des inflorescences réduirait la floraison tandis qu'une période sèche marquée et prolongée à cette période favoriserait la floraison. De Haut de Sigy (1967) et Dufournet (1968) ont approfondi une autre piste sur l'influence des pluies sur la production. Pour ces auteurs, la phase-clé se situe durant la période de septembre à novembre de l'année en cours. Ils ont étudié l'influence de cette période sur la production de l'année suivante ainsi

que les seuils de pluviométrie conduisant à chaque situation. Ces observations se basent cependant sur la production globale du pays et les connaissances sur cette irrégularité à de plus petites échelles n'existent pas. La caractérisation de l'irrégularité de production et les facteurs déclenchant et entretenant ce phénomène ne sont pas encore connus pour le giroflier. La question de recherche pour cette étude est donc la suivante : **Quels sont les facteurs qui influencent l'irrégularité de production du giroflier ?**

2.2. Hypothèses

L'analyse bibliographique précédente a montré qu'il n'existe pas ou peu de connaissances sur les mécanismes et facteurs affectant l'irrégularité de production du giroflier, mais que des connaissances existent pour d'autres espèces tropicales et tempérées. Sur cette base, nous proposons dans cette étude d'apporter des éléments de réponse à nos questions de recherche sur l'irrégularité de production en travaillant à trois échelles :

- A l'échelle de la parcelle, **Hypothèse 1** : des facteurs climatiques (pluviométrie et température) et des facteurs environnementaux (type de sol et alimentation hydrique) influencent l'occurrence et l'intensité de la floraison du giroflier

L'analyse bibliographique a montré que les facteurs externes sont des éléments qui contribuent au déclenchement de l'irrégularité de production. Pour le giroflier, seulement quelques données existent sur l'effet de la pluviométrie sur la floraison.

- A l'échelle de l'arbre et de l'organe, **Hypothèse 2** : des facteurs endogènes influencent la floraison du giroflier.

A côté de facteurs externes, des facteurs propres à la plante, endogènes, influencent la floraison. En particulier, il a été montré que des facteurs architecturaux peuvent affecter la floraison, notamment à travers des interactions entre croissance végétative et reproduction (Lauri et Trottier, 2004 ; Normand et al., 2009 ; Gaaliche et al., 2011 ; Dambreville et al., 2013). L'architecture d'une plante définit l'organisation dans l'espace des composants de la plante, elle change avec le temps. Elle peut être définie par des informations topologiques (connections entre les composants) et géométriques (forme, taille, orientation et localisation dans l'espace des composants).

2.3. Objectifs

Afin de vérifier ces hypothèses, des objectifs considérant les différentes échelles d'étude ont été fixés. Les objectifs généraux de cette étude sont : premièrement, de se doter des outils et des connaissances pour mieux étudier l'irrégularité de production et deuxièmement d'étudier l'effet de différents facteurs sur l'irrégularité de production chez le giroflier.

Les objectifs spécifiques de notre étude sont les suivants:

- (i) Caractériser l'irrégularité de production du giroflier,

La caractérisation de l'irrégularité de production se base actuellement sur l'évolution de la production de clous de girofle au niveau du pays. Cette approche a deux inconvénients. Le premier est que du fait de l'utilisation de données au niveau national, on ne peut pas apprécier à quelle échelle (région, verger, arbre) se produit l'irrégularité de production et analyser ce qui se passe à ces différentes échelles, d'où l'intérêt de réaliser des suivis à de plus petites échelles. Par la caractérisation de l'irrégularité de production à une échelle plus localisée (au niveau de la parcelle et au niveau de l'arbre), l'occurrence et l'intensité de la production au cours du temps peuvent ainsi être mieux appréciées. Le second inconvénient est que les fluctuations observées concernent l'exportation et non pas la production. Ainsi, les données peuvent être biaisées car les exportations de l'année n peuvent ne pas correspondre à la production de l'année $n-1$ (stockage de clous ou au contraire déstockage des années précédentes). En estimant directement la production au niveau de la parcelle et au niveau de l'arbre, la production « réelle » est obtenue. De plus, l'influence des facteurs environnementaux, endogènes et culturels sur la production peut également être analysée.

- (ii) Etudier le développement et la croissance des rameaux du giroflier

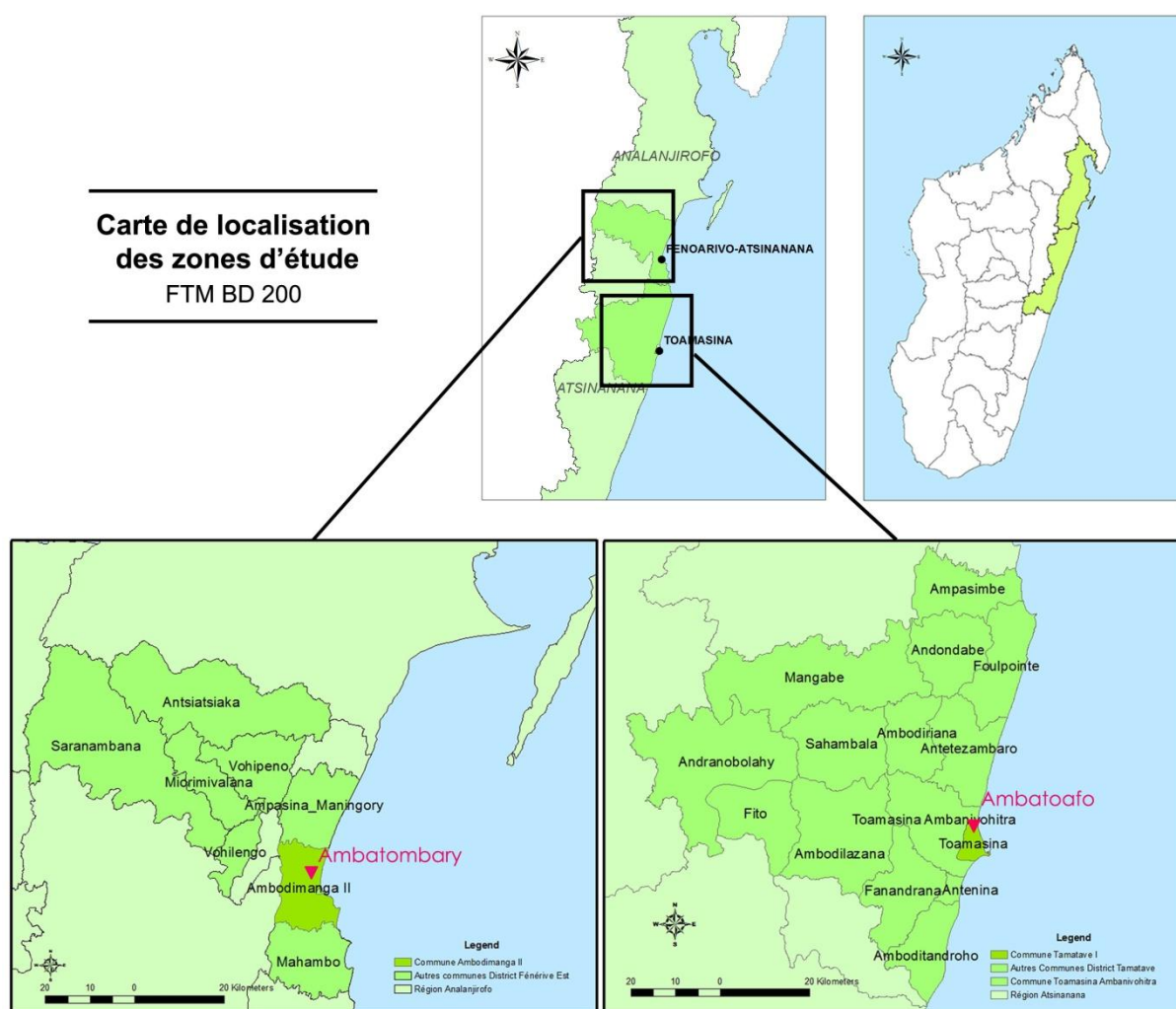
La caractérisation des relations entre croissance végétative et reproduction chez le giroflier est un objectif à moyen terme dans lequel s'insère cette étude. Vu l'absence de références bibliographiques et de connaissances sur la croissance végétative, le second objectif spécifique de cette étude a été de mieux caractériser la croissance végétative du giroflier : définition de stades phénologiques, analyse de la croissance des feuilles et des axes en fonction de la saison et du climat. La définition de stades phénologiques reproducteurs a également été entreprise.

3. METHODOLOGIE

3.1. Milieu d'étude

3.1.1. Localisation géographique des expérimentations

Les expérimentations ont été réalisées sur deux zones géographiques : Tamatave (Région Atsinanana) et Fénérive-Est (Région Analanjirofo) (Carte 1). Pour Tamatave, le dispositif a été installé dans le village d'Ambatoafo (S 18°05', E 049°21') et pour Fénérive Est, il a été mis en place dans le village d'Ambatombarry (S 17°20', E 049°21').



Carte 1: Localisation des zones d'étude

3.1.2. Milieu physique

3.1.2.1. Climat

a) Pluviométrie

Le climat est de type tropical humide pour Tamatave et Fénérive-Est. Les précipitations sont importantes tout au long de l'année, il n'y a pas de saison sèche marquée. Les précipitations annuelles pour Tamatave sont de 3368 mm (Figure 3) et pour Fénérive Est (Figure 4), elles sont de 2725 mm (moyennes annuelles sur 30 ans de 1951 à 1980, Service de la météorologie, 2013). Pour les deux zones, Septembre et Octobre sont les mois les plus secs, avec cependant une pluviométrie de plus de 100 mm mensuel. Mars est le mois le plus humide pour les deux zones, avec plus de 400 mm (Service de la météorologie, 2013).

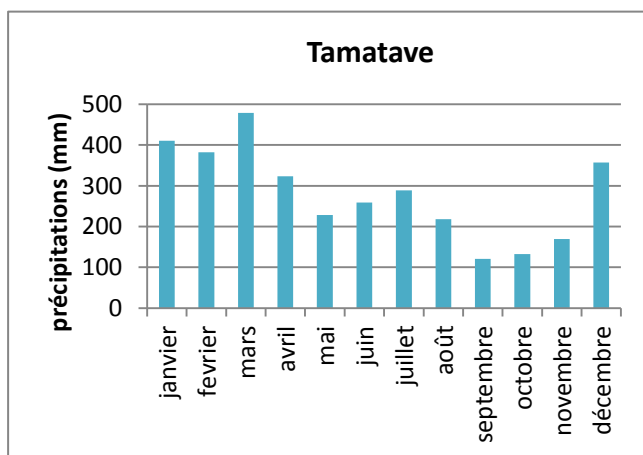


Figure 3: Précipitations mensuelles moyennes sur 30 ans à Tamatave

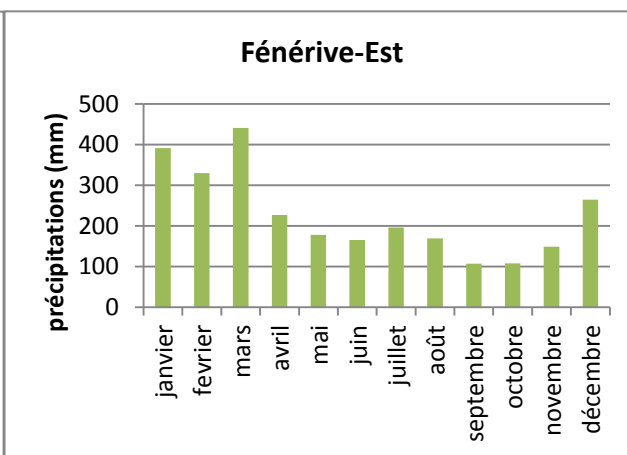


Figure 4: Précipitations mensuelles moyennes sur 30 ans à Fénérive-Est

Source : Service de la météorologie Antananarivo, 2013.

b) Température

La température moyenne est de 24,0°C pour Tamatave et 23,7°C pour Fénérive (moyennes annuelles sur 5 ans) (Service de la météorologie, 2013, ASECNA Centre météorologique secondaire Tamatave, 2007) (Figure 5 et Figure 6). Pour ces deux zones, janvier est le mois le plus chaud (26,0°C en moyenne). Août et juillet sont les mois les plus frais pour Tamatave (21°C) et Fénérive- Est (20,8°C) (Service de la météorologie, 2013, ASECNA Centre météorologique secondaire Tamatave, 2007). Les températures moyennes mensuelles minimum peuvent atteindre 17,6°C à Tamatave en août

et 17°C à Fénérive-Est en juin. Les températures moyennes mensuelles maximum peuvent aller jusqu'à 30,2°C à Tamatave et 30,4°C à Fénérive-Est au mois de février.

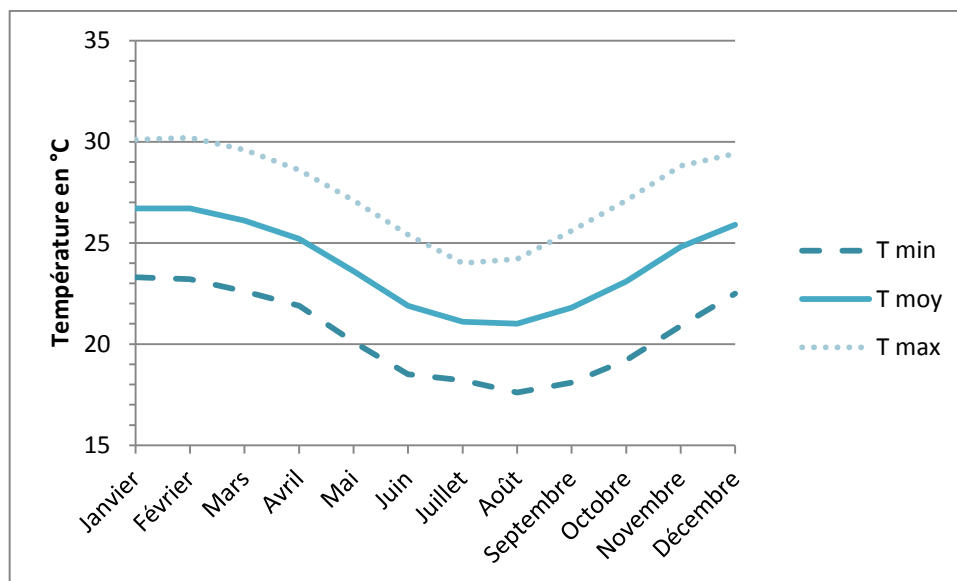


Figure 5: Températures mensuelles minimum, moyennes et maximum pour Tamatave (données sur 5 ans)

Source : ASECNA Centre météorologique secondaire Tamatave, 2007

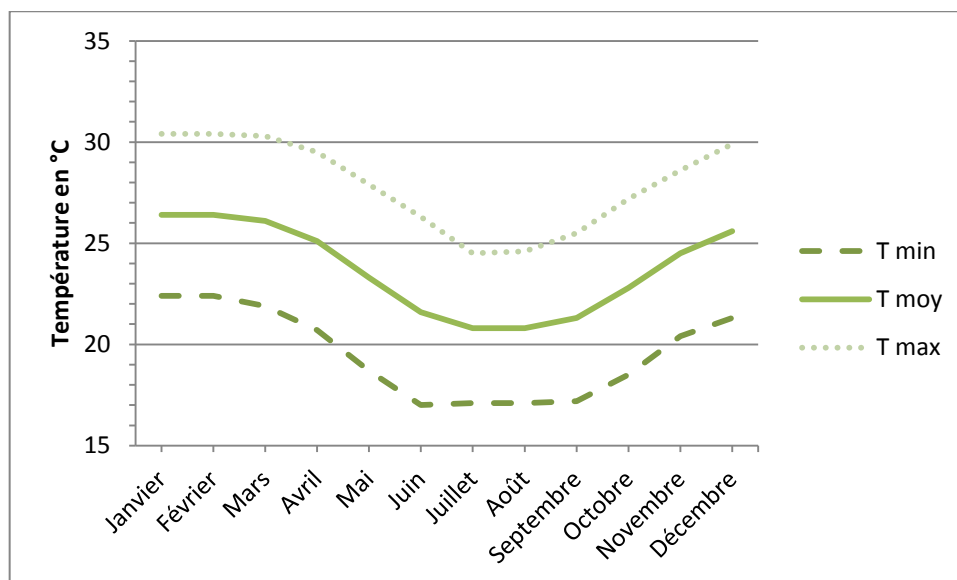


Figure 6: Températures mensuelles minimum, moyennes et maximum pour Fénérive-Est (données sur 5 ans)

Source : Service de la météorologie Antananarivo, 2013.

c) Cyclones

Les perturbations cycloniques sont les cataclysmes naturels les plus redoutés dans ces zones d'étude. La Région Analanjirofo constitue l'une des trajectoires les plus fréquentées par les cyclones qui sévissent généralement durant la saison des pluies. Les vents violents et les fortes pluies provoquent d'importantes inondations et de nombreux dégâts sur les cultures (ONE, 2009).

3.1.2.2. Pédologie

Globalement, la zone d'étude est caractérisée par la présence des éléments topographiques suivants: les tanety et les bas-fonds. Les tanety sont des zones de collines peu élevées. Les bas-fonds sont les zones de basse altitude situées entre les tanety. Les bas-fonds sont humides par des cours d'eau ou des marécages qui s'y trouvent. Les tanety sont plus sèches, alimentées en eau uniquement par les pluies.

Les sols des zones d'étude sont dominés par des sols ferralitiques, caractéristiques du versant oriental de Madagascar et des hautes terres centrales. Ils sont localisés sur les sommets et les flancs de collines. Ce sont des sols acides, riches en fer et en aluminium, avec des degrés de fertilité variables mais sans couvert forestier sur la plupart des tanety. Ils sont très sensibles à l'érosion et à la dégradation, et leur potentiel de production est fortement diminué. Ces sols sont favorables à certaines cultures s'ils sont protégés contre l'érosion (ONE, 2009). Des sols peu évolués à tendance hydromorphe se sont particulièrement développés à l'aval des cours d'eau et dans les grandes plaines et les marécages près de Fénérive-Est, entre autres. Ils sont alimentés par les dépôts provenant des sols dégradés en amont. Les sols d'apport fluvial se situent dans les bas-fonds en bordure des cours d'eau (Ranaivonasy et al., 2003).

3.2. Dispositif expérimental

3.2.1. Acquisition des données climatiques

3.2.1.1. Enregistrement de la pluviométrie

La pluviométrie a été enregistrée grâce à un pluviomètre à lecture directe installé sur chaque site (Photo 1). Les pluviomètres ont été installés sur une zone dégagée à une hauteur supérieure à 1,5m du sol afin d'éviter les perturbations et les obstacles. La pluviométrie a été relevée chaque jour, à heure fixe, pendant la durée du suivi d'avril 2012 à décembre 2013 pour Tamatave et Fénérive Est. Cependant, les résultats comportent des limites, dues aux problèmes de lecture rencontrés par l'opérateur lors des relevés à Fénérive-Est.

3.2.1.2. Enregistrement de la température

La température a été enregistrée grâce à des capteurs de température de la marque Océasoft thermo- biolab pour Tamatave (Photo 2 **Erreur ! Source du renvoi introuvable.**) et Tinytag pour Fénérive-Est (Photo 3). Ils ont été placés à l'intérieur d'abris météo installés sur les deux zones géographiques, à proximité des parcelles (Photo 4). Ces abris-météo ont été installés sur une zone dégagée (pas d'ombrage), à une hauteur de 1,5 m du sol. Les températures sont enregistrées automatiquement toutes les heures. A partir des données enregistrées, les températures minimale et maximale journalières ont été extraites, et la température moyenne journalière a été calculée comme la

moyenne des deux précédentes. La température a été enregistrée de mai 2012 à décembre 2013 pour Tamatave et d'avril 2012 à décembre 2013 pour Fénérive Est.



Photo 1: Pluviomètre à lecture directe



Photo 2: Capteur de température Thermobiolab dans un abri météo



Photo 3: Capteur de température Tinytag dans un abri météo



Photo 4: Abri météo sur le site de Fénériver-Est

3.2.2. Etude du développement et de la croissance des rameaux de girofliers

L'étude du développement et de la croissance des rameaux du giroflier s'est réalisée en deux parties. D'une part la définition de stades phénologiques, puis le suivi du développement et de la croissance de feuilles et d'axes d'autre part.

3.2.2.1. Définition des stades phénologiques

La première étape pour l'étude du développement et de la croissance des rameaux est la définition de stades phénologiques, qui n'a pas encore été réalisée chez le giroflier. Chaque stade phénologique représente, à un moment donné, l'ensemble des particularités morphologiques du végétal, ou d'un organe dans notre cas. Cette définition de stades phénologiques est nécessaire pour avoir des repères du développement des organes au cours du temps afin d'étudier leur croissance et leur développement.

La croissance concerne ce qui est allongement et augmentation de volume et de poids tandis que le développement désigne l'ensemble des modifications morphologiques qui se produisent au cours de

la vie végétale (par exemple la germination, la floraison, la fructification). La croissance et le développement sont fortement liés (Dambreville et al., 2014).

Les stades phénologiques du giroflier ont été classés en deux types : les stades phénologiques végétatifs pour les feuilles, et les stades phénologiques reproducteurs pour les inflorescences. Leur définition a été réalisée par l'observation et la description de critères morphologiques caractérisant le développement des feuilles et des inflorescences. Chaque stade phénologique a été pris en photo et ses caractéristiques morphologiques ont été décrites en détail. Les stades phénologiques végétatifs et reproducteurs ont été compilés sur fiches qui ont servi de support pour les suivis phénologiques réalisés sur le terrain.

3.2.2.2. Suivi de la croissance des feuilles

Afin de tester si la température a un effet sur la croissance et le développement des feuilles et des axes du giroflier, deux séries d'observations ont été réalisées dans deux contextes thermiques différents: une série en hiver (de juin à septembre) et une deuxième en été (de janvier à mars). Pour les axes, une mesure continue de la croissance en longueur a été réalisée durant plusieurs mois, en été et en hiver. Pour les feuilles, des mesures de croissance ont été réalisées à chaque saison.

a) Description du dispositif

A chaque saison, la croissance des feuilles a été suivie sur 3 arbres situés sur tanety sur la parcelle de Tamatave. Cinq feuilles par arbre ont été suivies, soit un total de 15 feuilles. Au début de l'expérimentation, 15 feuilles ont été sélectionnées. Les stades phénologiques initiaux de ces feuilles variaient de E à H (Voir partie Résultats 4.2.1). Pour les feuilles observées en hiver, il y a hétérogénéité des stades phénologiques des feuilles de départ (E à H), pour les feuilles observées en été, les feuilles avec des stades phénologiques jeunes ont été sélectionnées (uniquement D et E). Chaque feuille a été marquée au niveau de son pétiole. Les mesures ont été réalisées toutes les deux semaines.

b) Acquisition des données

Trois types de données ont été collectés : les données mesurées, observées et déduites.

- Les données mesurées (en cm) sont: la longueur totale (pétiole + limbe), la longueur du limbe, la largeur du limbe. Elles ont été mesurées grâce à une règle.
- Les données observées sont : la couleur du limbe et le stade phénologique correspondant.
- Les données déduites sont : la longueur du pétiole, la surface du limbe, et le rapport longueur/largeur du limbe qui est un paramètre de la forme plus ou moins étroite du limbe.

c) Traitement et analyse des données

Les données déduites ont été calculées avec le tableur Excel. La longueur du pétiole est obtenue en calculant la différence entre la longueur totale et la longueur du limbe. La surface du limbe est

estimée par le produit (longueur * largeur). Ce produit est en général bien corrélé de façon linéaire avec la surface individuelle de la feuille (Verwijst and Wen, 1996 ; Montero et al., 2000 ; Antunes et al., 2008). On estime donc ainsi la surface foliaire vraie, à un coefficient près.

Les données sur la croissance des feuilles ont été traitées et analysées avec Excel et avec le logiciel R. En premier lieu, il y a eu des analyses graphiques sous R. Les représentations graphiques de la courbe d'évolution de la surface (en cm²), de la longueur (en cm) et de la largeur (en cm) des feuilles suivies ont été matérialisées. Les relations entre les différentes phases de ces courbes et les stades phénologiques ont été analysées graphiquement.

En second lieu, de nouvelles variables ont été calculées en plus des données déduites. Ces nouvelles variables sont :

- VS : vitesse journalière moyenne d'augmentation de la surface de la feuille (mm²/j).
- VL : vitesse journalière moyenne d'allongement de la longueur de la feuille (mm/j)
- VI : vitesse journalière moyenne d'allongement de la largeur de la feuille (mm/j)

Les variables VS, VL et VI sont les vitesses moyennes d'augmentation de surface et d'allongement en longueur et en largeur entre deux dates de mesure successives.

- La surface foliaire moyenne (en cm²) : qui est la moyenne des surfaces foliaires entre deux dates de mesures successives

A partir de ces données, la croissance des feuilles a été mise en relation avec la pluviométrie et la température relatives à chaque saison de mesure (été et hiver).

3.2.2.3. Suivi de la croissance des axes

a) Description du dispositif

Pour une étude plus approfondie au niveau des organes, un suivi des axes a été réalisé. Ce suivi a été effectué sur 3 arbres sur tanety à Tamatave. Parmi ces 3 arbres, 2 arbres ont été taillés en mars 2012 et un autre a été laissé non taillé. Sur chacun de ces 3 arbres, 5 axes ont été sélectionnés, ce qui fait un total de 15 axes. Chaque axe a été étiqueté et numéroté. Le point de référence pour mesurer la longueur de chaque axe est un nœud qui a été marqué au blanco. Les nouvelles ramifications issues de ces axes, qui apparaissent au cours du temps, sont aussi numérotées et mesurées. Les mesures ont été réalisées tous les 15 jours.

b) Acquisition des données

Trois types de données ont été collectés : les données mesurées, comptées et observées.

- La donnée mesurée est la longueur de l'axe à partir de la base (en cm)
- Les données comptées sont : le nombre de nœuds, le nombre de feuilles, le nombre de ramifications
- Les données observées sont : la présence du bourgeon apical, le stade phénologique du bourgeon apical et le stade phénologique des feuilles pour chaque nœud

c) Traitement et analyse des données

De même que pour les données du suivi de la croissance des feuilles, les données de suivi des axes ont également été analysées graphiquement sous Excel et sous R.

Les représentations graphiques de l'évolution de la longueur de l'axe (en cm) au cours du temps, de l'évolution du nombre de nœuds au cours du temps, de l'évolution de la longueur en fonction du nombre de nœuds, et de la longueur moyenne des entre-nœuds au cours du temps ont été réalisées.

3.2.3. Caractérisation de l'irrégularité de production

3.2.3.1. Description des parcelles

La caractérisation de l'irrégularité de production a été réalisée sur deux zones géographiques : Tamatave et Fénérive Est. Sur ces deux zones, les suivis ont été effectués sur des parcelles en milieu réel appartenant à des producteurs qui sont partenaires du CTHT Centre Technique Horticole de Tamatave.

La parcelle de suivi à Tamatave est située dans le village d'Ambatoafo. Cette parcelle est composée d'une centaine de girofliers occupant un versant de tanety. Les girofliers de cette parcelle ont été plantés en 2000 avec l'appui technique du CTHT. Les girofliers sont en monoculture en haut de tanety mais vers le bas-fond, ils bénéficient d'une ambiance d'agroforêt (manguier, raphia, flamboyant). Ils ont été plantés en suivant un écartement régulier de 5 mètres environ.

La parcelle de suivi à Fénérive-Est se trouve dans le village d'Ambatombary. Cette parcelle est une exploitation paysanne dont une partie est localisée sur un versant de colline et une autre partie est localisée en bas-fond. Les girofliers sont d'âges différents. En haut de tanety, les girofliers sont majoritaires avec quelques autres arbres (litchi). En bas de tanety, ils sont associés avec d'autres cultures annuelles : piment, maïs, concombre.

3.2.3.2. Description du dispositif

Le dispositif vise à étudier l'évolution de l'intensité de floraison à l'échelle de l'arbre au cours des années. A cet effet, trois facteurs ont été pris en compte. Premièrement, il y a le facteur situation

géographique, pour lequel deux zones géographiques ont été considérées : Tamatave et Fénérive. Deuxièmement, il y a le facteur ‘zone de plantation’ qui a deux modalités : haut de tanety et bas-fond. Ce facteur considère l’accès à l’eau des girofliers suivant leur position sur la tanety. Les arbres situés en bas de tanety sont proches de la zone humide du bas-fond, avec probablement un accès à la nappe phréatique, contrairement aux arbres situés sur la tanety. Troisièmement, il y a le facteur année : 2012 et 2013.

Dans chaque zone de plantation, 30 arbres ont été sélectionnés de façon aléatoire, ce qui fait un total de 60 arbres par zone géographique. Pour ce suivi, un total de 120 arbres a donc été suivi sur les deux zones géographiques. Les girofliers suivis ont été identifiés et numérotés à la peinture lors de la première année de suivi.

L’observation consistait à estimer, pour chaque arbre, le pourcentage d’axes terminaux comportant une inflorescence par rapport à la quantité totale des axes de l’arbre. Ce pourcentage est appelé par la suite ‘intensité de floraison’. Elle a été estimée au moment où l’ensemble des inflorescences étaient apparues : fin août pour 2012 et septembre pour 2013. L’intensité de floraison a été estimée de façon semi-quantitative en utilisant une échelle comportant 6 classes (Tableau 1).

Tableau 1: Classification de l’estimation de l’intensité de floraison des girofliers

Classe	1	2	3	4	5	6
Pourcentage de rameaux terminaux florifères	0	<10	[10 ; 25[[25 ; 50[[50 ; 80[>80

L’intensité de floraison de chaque arbre est estimée par l’une des 6 classes suivantes : classe 1 : pas de floraison ; classe 2 : moins de 10% des rameaux terminaux de l’arbre ont fleuri ; classe 3 : entre 10 et 25% des rameaux terminaux de l’arbre ont fleuri ; classe 4 : entre 25 et 50% des rameaux de l’arbre ont fleuri ; classe 5 : entre 50 et 80% des rameaux terminaux de l’arbre ont fleuri ; et classe 6 : plus de 80% des rameaux terminaux ont fleuri.

3.2.3.3. Traitement et analyse des données

L’analyse des données a été réalisée sur la distribution de l’intensité de floraison des arbres étudiés. Le test Exact de Fisher a été utilisé pour comparer les distributions en fonction des modalités des différents facteurs. Le test des proportions a été utilisé pour comparer les proportions pour une classe considérée entre les modalités d’un facteur, en particulier la classe 1 qui représente les arbres qui n’ont pas fleuri, et qui est le complémentaire de la proportion des arbres qui ont fleuri (classes 2-6). Comme les distributions ne sont pas gaussiennes, leur médiane a été déterminée. Chacune est représentative de l’intensité de floraison ‘moyenne’ dans la distribution.

Des analyses sur les floraisons individuelles par arbre ont été réalisées pour compléter les résultats précédents qui sont relatifs à l'échelle de la parcelle. Ces analyses ont porté sur l'évolution du comportement florifère de chaque arbre sur les deux ans de suivi, en fonction de la zone de plantation (tanety vs bas-fonds) et de la zone géographique (Tamatave vs Fénérive-Est). Pour ces analyses, les arbres ont été catégorisés en fonction de l'évolution de leur comportement florifère sur les 2 ans de suivi. Quatre classes ont donc été définies en combinant les modalités NF pour « non florifère » (arbres de la classe 1) et FLO pour « florifère » (arbres des classes 2-6) (Tableau 2).

Tableau 2: Classes d'évolution du comportement florifère des girofliers entre 2012 et 2013

Année 2013 Année 2012	NF	FLO
NF	NF-NF	NF-FLO
FLO	FLO-NF	FLO-FLO

3.2.4. Cadre opératoire

Tableau 3: Cadre opératoire de la recherche

Question	Hypothèse	Sous-hypothèse	Indicateurs	Méthodologie	Activités
Quels facteurs contribuent à l'irrégularité de production chez le giroflier ?	<ul style="list-style-type: none"> • A l'échelle de la parcelle, Hypothèse 1 : des facteurs climatiques (pluviométrie et température) et des facteurs environnementaux (type de sol et alimentation hydrique) influencent l'occurrence et l'intensité de la floraison du giroflier 	<p>SH1 : La température a une influence sur la floraison</p> <p>SH2 : La pluviométrie a une influence sur la floraison</p> <p>SH3 : La topographie et l'alimentation hydrique ont une influence sur la floraison</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Température • Pluviométrie • Zone de plantation • Intensité de floraison • Evolution du comportement florifère • Relation entre intensités de floraison 	<ul style="list-style-type: none"> • Caractériser l'irrégularité de production 	<ul style="list-style-type: none"> • Relever les données climatiques • Estimer la production des girofliers • Analyser la production en fonction des facteurs climatiques et environnementaux
	<ul style="list-style-type: none"> • A l'échelle de l'arbre et de l'organe, Hypothèse 2 : des 	<p>SH1 : les facteurs propres à la</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Stades phénologiques • Evolution de la surface foliaire 	<ul style="list-style-type: none"> • Etudier la croissance et le 	<ul style="list-style-type: none"> • Définir des stades phénologiques

	facteurs endogènes influencent la floraison du giroflier.	plante ont une influence sur la floraison	<ul style="list-style-type: none"> • Rapport longueur/largeur • Vitesse moyenne d'extension • Allongement des axes • Augmentation du nombre de nœuds • Intensité de floraison • Evolution du comportement florifère • Relation entre intensités de floraison • Zone de plantation 	développement des organes du giroflier <ul style="list-style-type: none"> • Caractériser l'irrégularité de production 	<ul style="list-style-type: none"> • Mesurer les paramètres sur les feuilles et les axes • Analyser les paramètres mesurés en fonction des facteurs extérieurs
--	---	---	---	---	--

4. RESULTATS

4.1. Données climatiques

4.1.1. Pluviométrie

Pour l'année 2012, la somme de la pluviométrie sur 8 mois (de mai à décembre) est de 1232,8mm pour Tamatave et de 946,7mm pour Fénérive-Est. La pluviométrie totale annuelle en 2013 s'élève à 2128,2mm pour Tamatave et 833,2mm pour Fénérive –Est. Par rapport à la pluviométrie moyenne annuelle sur 30 ans (3368 mm pour Tamatave et 2725mm pour Fénérive-Est), 2013 a été une année globalement sèche pour les deux sites. Pendant le suivi, Fénérive –Est a été plus sec que Tamatave (Figure 7).

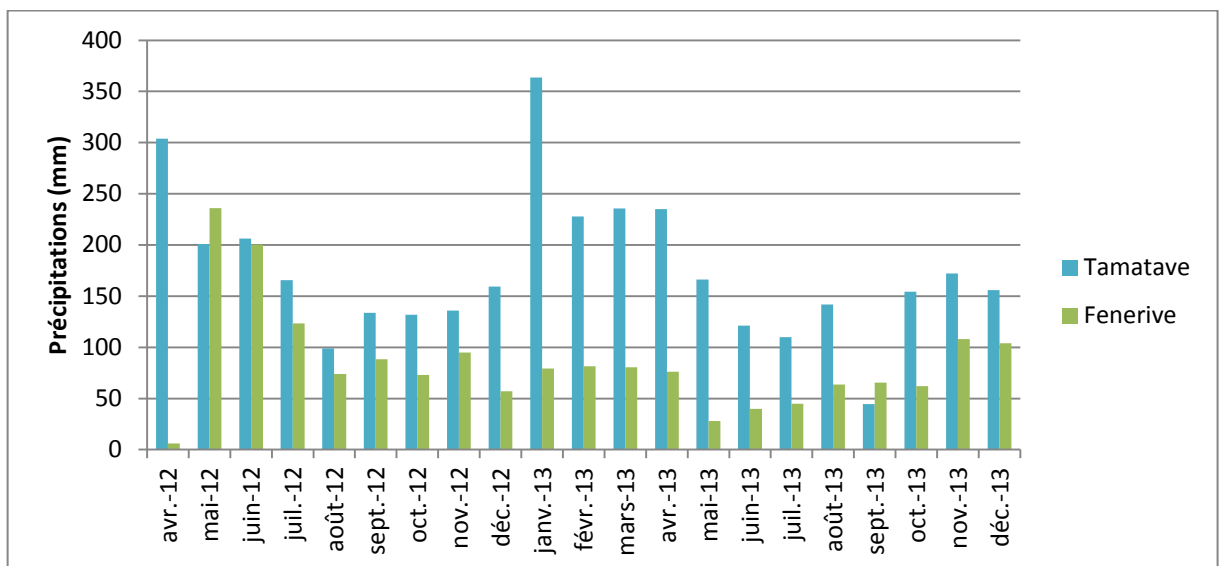


Figure 7: Pluviométrie moyenne mensuelle sur les sites de Tamatave et Fénérive-Est durant 21 mois

4.1.2. Température

La température moyenne annuelle pour Tamatave est de 23,4°C en 2012 et 24,3°C en 2013. Pour Fénérive Est, cette moyenne est de 23,4°C en 2012 et 24,6°C en 2013 (Figure 8). Globalement, il n'y a pas de différence entre les deux sites pour les températures moyennes. Pour les températures moyennes mensuelles minimales, elles sont plus basses à Tamatave qu'à Fénérive-Est : 17,2°C (en 2012) et 16,5°C (en 2013) à Tamatave contre 18,4°C (en 2012) et 17,7°C (en 2013) à Fénérive-Est (Figure 9). Pour les températures moyennes mensuelles maximales, elles sont plus élevées à Fénérive-Est qu'à Tamatave : 30,3°C (en 2012) et 32,7°C (en 2013) à Tamatave contre 32,0°C (en 2012) et 33,9°C (en 2013) à Fénérive-Est.

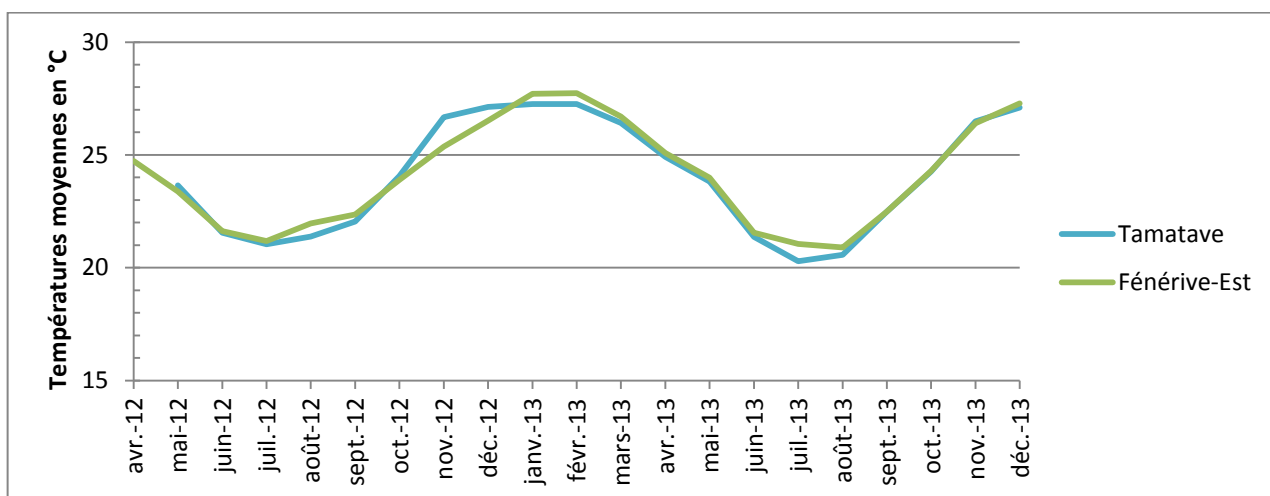


Figure 8: Températures moyennes mensuelles sur les deux sites durant 21 mois

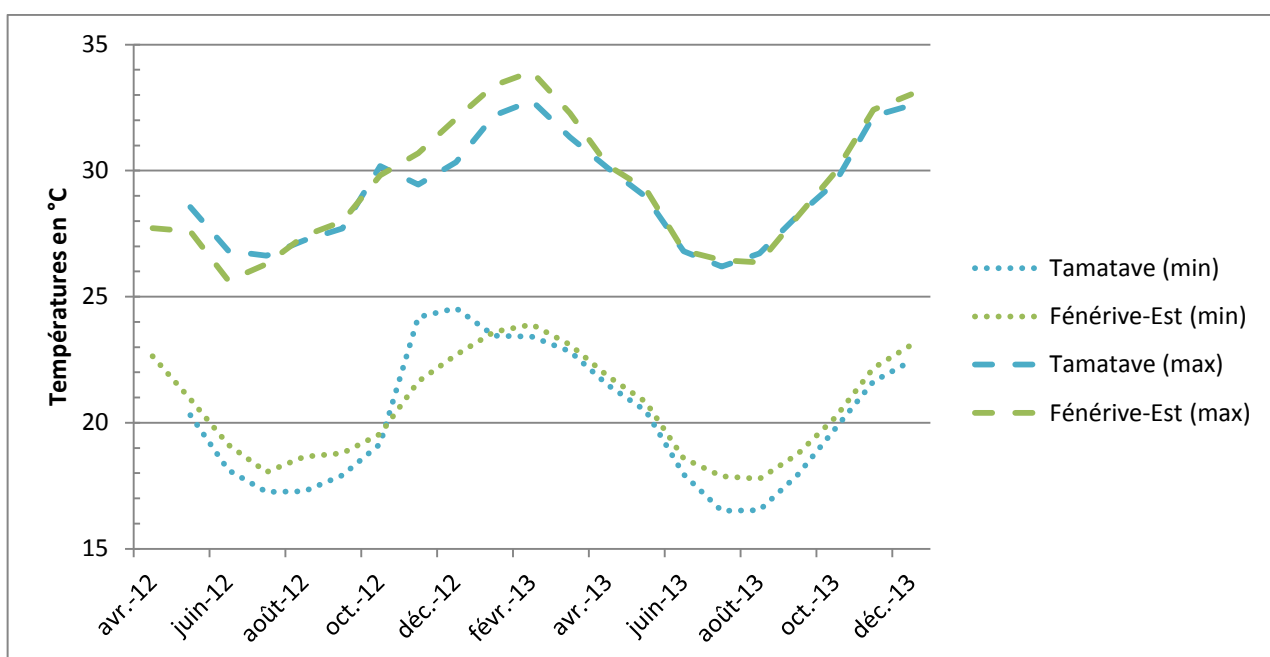


Figure 9: Températures moyennes mensuelles minimales et maximales sur les 2 sites durant 21 mois

4.2. Etude du développement et de la croissance des rameaux de girofliers

4.2.1. Stades phénologiques

4.2.1.1. Stades phénologiques végétatifs

Du bourgeon au repos jusqu'à la feuille mature, 9 stades phénologiques végétatifs ont été définis, nommés de A à I (Figure 10). La définition de ces stades a été basée sur la description des critères morphologiques suivants:

- pour le bourgeon : son état (ouvert ou au repos) ; sa couleur et sa forme
- pour la feuille : sa taille; la longueur du pétiole ; la forme, la couleur et la texture du limbe

STADES PHENOLOGIQUES VEGETATIFS DU GIROFLIER



A	B	C	D	E	F	G	H	I
Stade A :	Bourgeon au repos, bourgeon apical : pointu, bourgeon latéral : arrondi, couleur rouge en général							
Stade B :	Ouverture du bourgeon, apparition des jeunes feuilles encore accolées							
Stade C :	Séparation des jeunes feuilles, avec pétioles accolés							
Stade D :	Début d'élongation des feuilles, apparition de l'entre-nœud sous-jacent							
Stade E :	Elongation des feuilles, pétiole long, limbe étroit et rose							
Stade F :	Limbe des feuilles large, forme proche de la forme de la feuille mûre, couleur rose							
Stade G :	Feuille de couleur jaune, texture fine							
Stade H :	Feuille de couleur vert pâle							
Stade I :	Feuille mûre de couleur verte, à texture épaisse							

Figure 10: Stades phénologiques végétatifs du giroflier

4.2.1.2. Stades phénologiques reproducteurs

Pour ce qui est des stades phénologiques reproducteurs, 8 stades ont été définis, nommés de A' à H' (Figure 11). La description a été basée sur les critères morphologiques suivants :

- pour le bourgeon : son état (ouvert ou au repos) ; sa couleur et sa forme
- pour les entre-nœuds de l'inflorescence: leur apparition ; leur nombre et leur élongation
- pour les boutons floraux : leur apparition ; la présence ou non de la tête (pétales) ; l'état des sépales (fermés ou ouverts) ; la couleur des boutons et des pétales
- quand le bouton floral est passé au stade fleur : son ouverture ou non et la présence ou non d'étamines
- quand la fleur est passée au stade d'antofle : fruit

STADES PHENOLOGIQUES DU GIROFLIER : INFLORESCENCES



Stade A' :	Bourgeon reproducteur au repos
Stade B' :	Ouverture du bourgeon, édification du 1 ^{er} entre-nœud commun de l'inflorescence
Stade C' :	Elongation de l'axe principal de l'inflorescence Si l'axe possède n entre-nœuds, le sous-stade est noté C'n, on note l'entre-nœud où on a des ramifications Si l'axe principal disparaît, on prend l'axe secondaire le plus long
Stade D' :	Apparition et croissance des boutons floraux, avec la tête (pétales) non visible, couleur jaune vert, sépales tournés vers l'intérieur
Stade E' :	Croissance des boutons floraux avec la tête (pétales) visible, sépales ouverts autour de la tête, on donne les stades présents sur l'inflorescence : E1 : clou vert clair, pétales blancs E2 : clou jaune orangé, pétales blancs E3 : clou rose rouge, pétales rosés
Stade F' :	Fleur ouverte
Stade G' :	Fleur passée, toutes les étamines sont tombées
Stade H' :	Développement, croissance de l'antofle

Figure 11: Stades phénologiques reproducteurs du giroflier

4.2.2. Croissance des feuilles

4.2.2.1. Evolution de la surface des feuilles

- Variabilité de la surface foliaire initiale et finale

Pour les feuilles en été, au début des mesures, la surface des feuilles varie de 0,2 cm² à 7,02 cm² avec une moyenne de 2,8 cm². A la fin des mesures, quand les feuilles ont atteint leur taille maximale et leur stade phénologique le plus avancé, cette surface varie de 17,04 cm² à 47,3 cm² avec une moyenne de 29,0 cm². Pour les feuilles en hiver, au début des mesures, la surface des feuilles varie de 1,8 cm² à 30,6 cm² avec une moyenne de 14,1 cm². A la fin des mesures, quand les feuilles ont atteint leur taille maximale et leur stade phénologique le plus avancé, cette surface varie de 13,8 cm² à 47,9 cm² avec une moyenne de 30,3 cm². Les surfaces des feuilles présentent donc une grande variabilité. Les dimensions de départ sont plus petites en été à cause de l'homogénéité des stades phénologiques considérés, seuls les stades jeunes ont été choisis.

- Courbe de croissance des feuilles

Les feuilles observées pendant les deux saisons ont présenté une courbe sigmoïde (Figure 12). Cette courbe comporte trois phases : une phase exponentielle, une phase linéaire et une phase de freinage. Pendant la phase exponentielle, la surface augmente exponentiellement avec le temps. Pendant la phase linéaire, la surface augmente de façon régulière. La vitesse de croissance est maximale durant cette phase. Pendant la phase de freinage, il y a diminution de la vitesse de croissance jusqu'à atteindre la taille finale de la feuille. L'analyse des courbes a montré que la phase exponentielle de croissance correspond à des stades phénologiques D, E, F, que la phase linéaire de croissance correspond à des stades phénologiques F et G, et que la phase de freinage correspond à des stades phénologiques H et I. Sur les 15 feuilles étudiées en hiver, les 7 feuilles échantillonnées à un stade phénologique peu avancé (D, E et F) ont présenté une courbe sigmoïde. Sur les feuilles étudiées en été, la totalité des feuilles a montré une courbe d'évolution de la surface sigmoïde car elles ont été choisies à des stades phénologiques jeunes (E, D et F). Pour les feuilles sur lesquelles le suivi a commencé sur les stades plus âgés (H), la forme sigmoïde n'a pas pu être observée, la courbe montrant peu d'évolution de la surface foliaire.

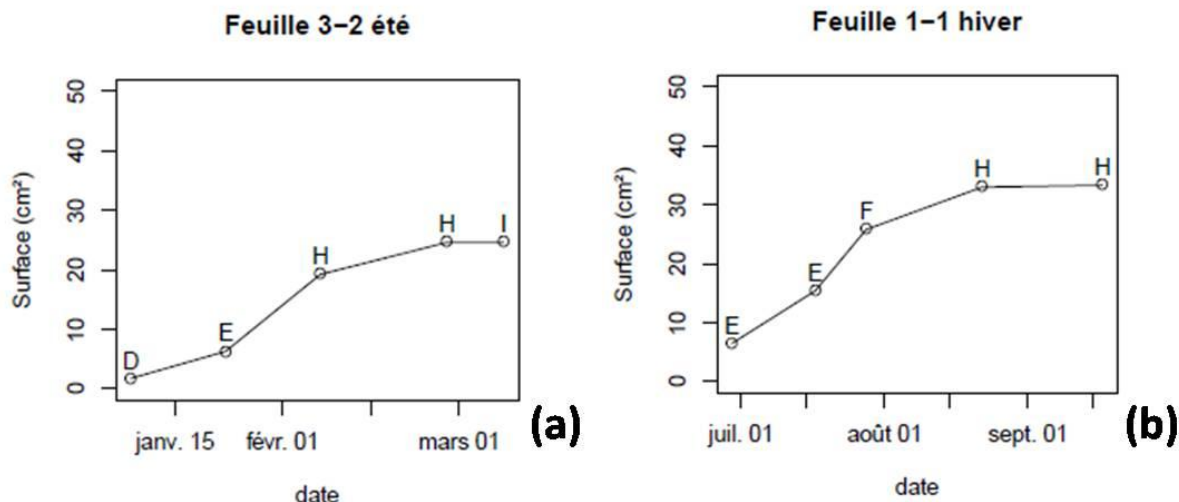


Figure 12: Exemples de courbe d'évolution de la surface d'une feuille : (a) en été, (b) en hiver

- Durée de croissance des feuilles et surface foliaire finale

Les feuilles sont passées du stade jeune (E ou F) au stade mature (I) en 2 mois pour les feuilles en été, et en 2,5 mois pour les feuilles en hiver. Les surfaces foliaires finales sont les mêmes pour les feuilles observées en été et celles observées en hiver. Il n'y a pas d'effet de la saison sur la surface foliaire finale des feuilles (test d'analyse de variance, $P=0,95$).

4.2.2.2. Rapport longueur/largeur limbe

Les courbes de croissance en largeur et en longueur pour les deux saisons présentent également une allure sigmoïde (Figure 13). Pour le rapport longueur/largeur du limbe, la plus grande variabilité est constatée pour les stades D en été (2,8 à 5) et E en hiver (2,9 à 5). La plus faible variabilité est rencontrée au stade G : 2,8 à 3 en été et 2,17 à 3 en hiver. Ce rapport varie très peu pour les stades H et I. Pour H, le rapport varie entre 2,3 et 3,1 en été avec une moyenne de 2,7. En hiver, il varie de 2,17 à 3,45 avec une moyenne de 2,62. Pour le stade I, le rapport varie entre 2,4 et 3,0 en été avec une moyenne de 2,7. En hiver, il varie de 2,17 à 3,45 avec une moyenne de 2,53. Ce rapport est le plus élevé aux stades D en hiver et E en été avec une valeur de 5 pour les deux stades. Il diminue petit à petit vers les stades plus âgés : moyenne de 3,7 jusqu'à 2,7 pour les stades D à I pour les feuilles en été et une moyenne de 3,5 à 2,5 pour les stades D à I pour les feuilles en hiver. La croissance des feuilles se fait d'abord en longueur pour les stades phénologiques jeunes (D et E). A ces stades, la feuille présente une forme effilée. Ensuite, la croissance en longueur diminue au fur et à mesure et la croissance de la feuille se fait en largeur.

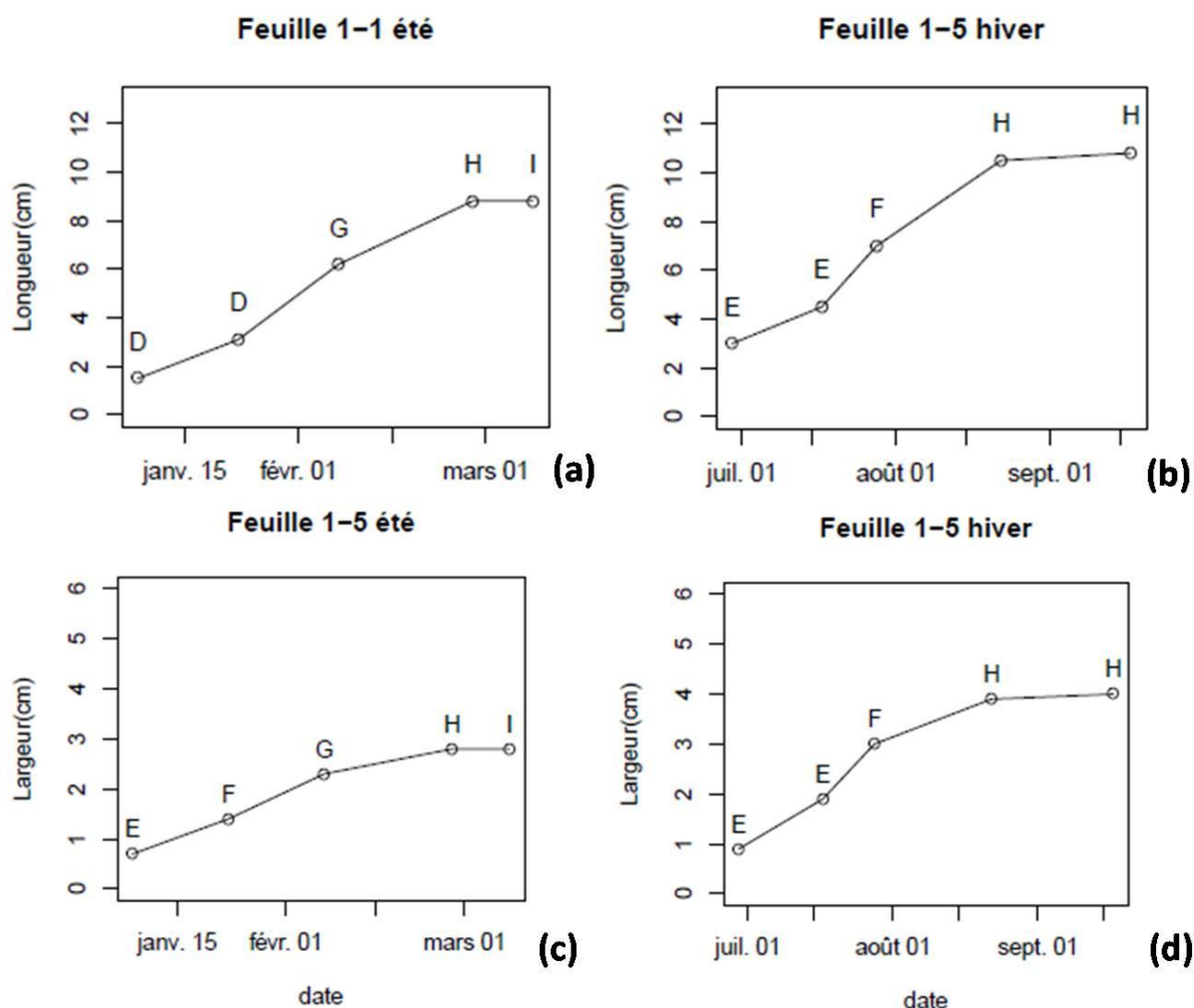


Figure 13: Exemples de courbes de croissance des feuilles: (a) en longueur pendant l'été, (b) en longueur pendant l'hiver, (c) en largeur pendant l'été, (d) en largeur pendant l'hiver

4.2.2.3. Vitesse moyenne d'extension

Pour les feuilles observées en été, la vitesse moyenne de croissance en surface passe de 16,8 mm²/jour au stade D à 53,5 mm²/jour au stade E (Figure 14). Au stade F, cette vitesse moyenne augmente à 88,5 mm²/jour et atteint le maximum de 134,4 mm²/jour au stade G. Elle diminue ensuite jusqu'à 17,5 mm²/jour au stade H et baisse jusqu'à 8,2 mm²/jour au stade I. Pour les feuilles observées en hiver, la vitesse moyenne au stade E est de 35,0 mm²/jour et augmente à 48,1 mm²/jour au stade F. Elle plafonne également au stade G avec 93,7 mm²/jour. La vitesse descend ensuite à 10,9 mm²/jour au stade H et continue à baisser jusqu'à s'annuler au stade I.

Les vitesses de croissance ont été comparées pour les deux saisons de suivi. L'allure de la courbe est la même en été et en hiver, avec la vitesse maximale de croissance au stade phénologique G pour les deux cas. La vitesse de croissance en surface en été est supérieure à celle en hiver. Par exemple, la vitesse de croissance au stade G est de 134,4 mm²/jour en été, et elle est de 93,7 mm²/jour en hiver. Du stade F au stade G, la pente est la même à chaque saison. Il y a une forte diminution de

vitesse en passant de G à H pour les deux saisons et la vitesse diminue jusqu'à s'annuler pour le stade I.

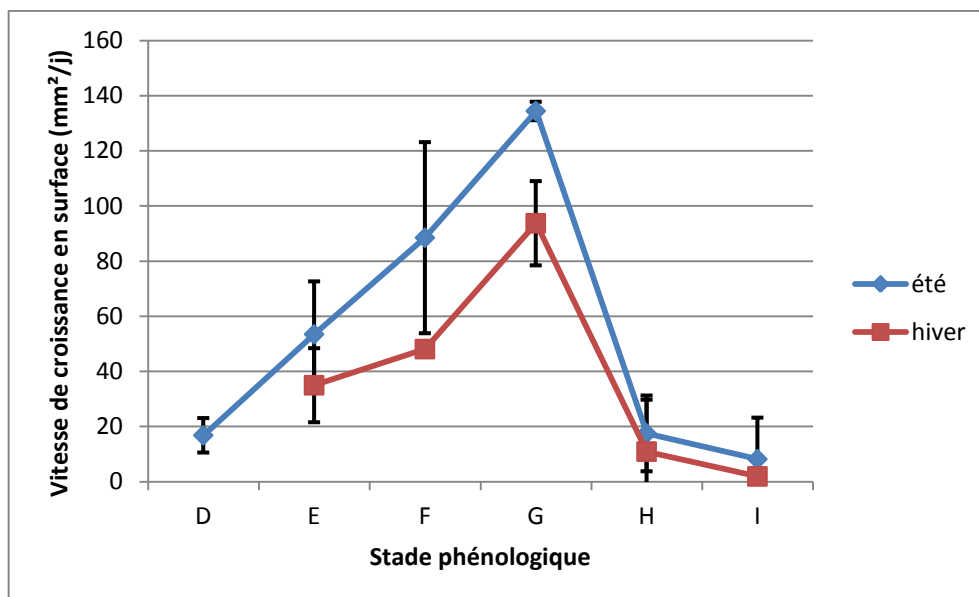


Figure 14: Vitesses moyennes de croissance en surface des feuilles selon la saison. Les barres verticales indiquent \pm l'écart-type

4.2.3. Croissance des axes

4.2.3.1. Allongements des axes

Au départ, les axes observés mesuraient entre 1,6cm et 11,3 cm, la moyenne était de 5,6 cm. A la fin de la période de mesure, (29 juin 2012 au 2 janvier 2014, soit 18 mois), la longueur des axes variait de 5,1 cm à 24,2 cm, avec une moyenne de 12,5 cm (Figure 15).

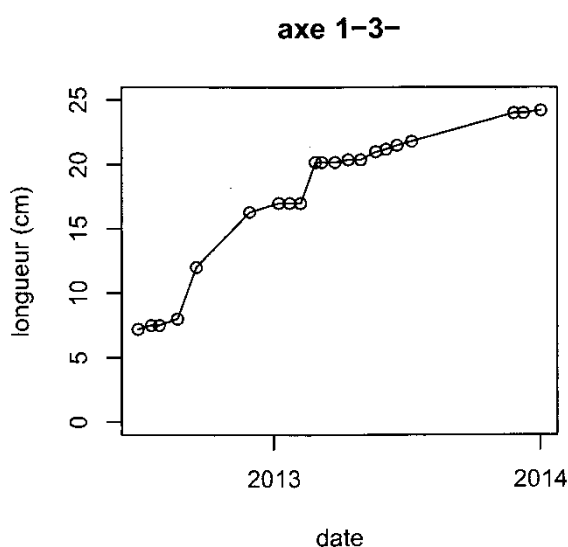


Figure 15: Exemple de courbe de croissance en longueur en fonction du temps

L'allongement obtenu pendant toute la durée du suivi variait de 3,5 à 12,9 cm avec une moyenne de 7,27 cm. Le suivi a été divisé en plusieurs périodes suivant les saisons. Pendant la première période « hiver 1 » de juin à septembre, la valeur de l'allongement variait de 0 cm à 4,8 cm avec une moyenne de 0,7 cm. Pendant la seconde période « été », de novembre à avril, la valeur de l'allongement variait entre 0,3 et 5,2 cm avec une moyenne de 2,0 cm. Pour la troisième période « hiver 2 », cet allongement variait entre 0 et 5,4 cm, avec une moyenne de 2,4 cm. La moyenne des allongements pour « été » est supérieure à celle de « hiver 1 » mais pas à celle de « hiver 2 ». Pour ce qui est des ramifications, la majorité des ramifications issues des axes principaux observés (6 sur 7) sont apparues en avril 2013 (période été).

4.2.3.2. Augmentation de nombre de nœuds

Les axes de départ possédaient entre 2 à 7 nœuds avec une moyenne de 3,2 nœuds. Le nombre de nœuds final est passé de 8 à 18 nœuds avec une moyenne de 12,4 nœuds. . Pendant la première période « hiver 1 » de juin à septembre, le nombre de nœuds gagnés variait de 0 à 2 nœuds avec une moyenne de 0,2 nœuds. Pendant la seconde période « été », de novembre à avril, le nombre de nœuds gagnés variait de 0 à 6 nœuds avec une moyenne de 1,8 nœud. Pour la troisième période « hiver 2 », le nombre de nœuds gagnés variait de 2 à 7 nœuds avec une moyenne de 5 nœuds. C'est au cours de cette dernière période qu'il y a eu le plus de nœuds gagnés. La longueur d'un entre-nœud varie de 0,15 cm à 2 cm (Figure 16).

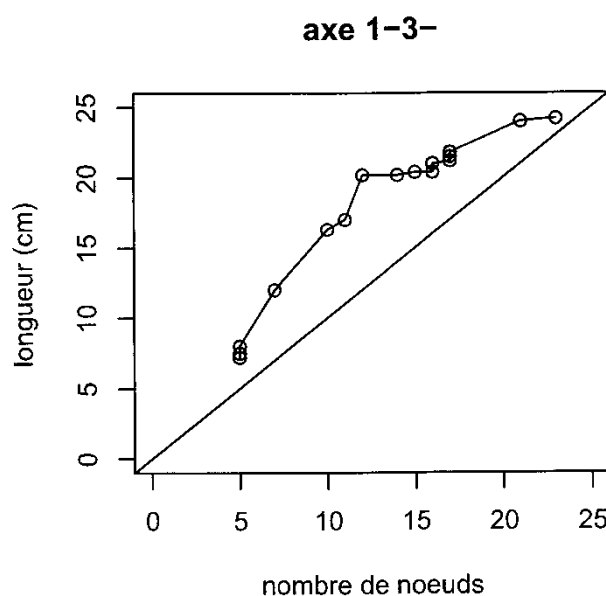


Figure 16: Exemple de croissance de la longueur en fonction du nombre de nœuds

4.3. Caractérisation de l'irrégularité de production

4.3.1. Influence du site

Globalement, la majorité des girofliers a pas fleuri ou peu fleuri sur les deux sites et sur les deux années. Aucun arbre n'a été assigné dans la classe 6. Les médianes des deux distributions sur les deux sites se situent à la classe 2, c'est-à-dire dans la classe des arbres ayant moins de 10% de rameaux terminaux florifères.

A Fénérive, la distribution de l'intensité de la floraison est hétérogène car les arbres sont répartis dans 5 classes correspondant à des intensité de floraison de 0% à [50 ; 80% [(Figure 17). Le nombre d'arbres par classe diminue au fur et à mesure que l'on avance vers les classes qui ont une intensité de floraison élevée. A Tamatave, la majorité des arbres se trouvent dans la classe 1, c'est-à-dire qu'ils n'ont pas fleuri, et les classes au-delà de la classe 2 ne sont pas représentées, à part un arbre situé dans la classe 4. On constate une différence significative entre les distributions de l'intensité de floraison dans les 2 sites (Test Exact de Fisher, $p\text{-value} < 0.001$). Sur l'ensemble des 2 années, une différence significative est également remarquée pour la proportion des arbres n'ayant pas fleuri. A Tamatave, 80.8% des arbres n'ont pas fleuri, contre 55.0% à Fénérive-Est (Test de proportion, $p\text{-value} < 0.001$).

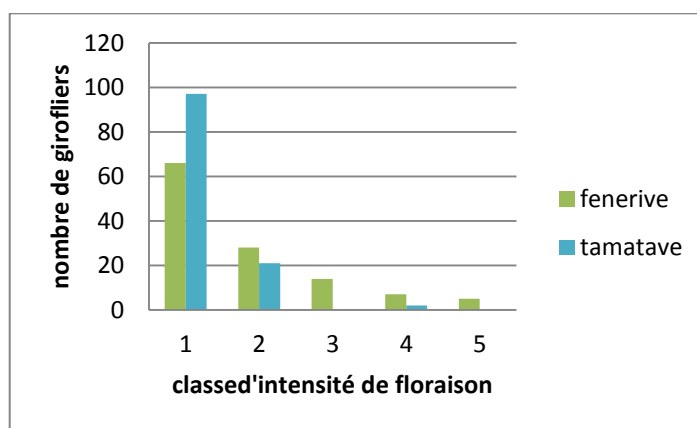


Figure 17: Distribution de l'intensité de floraison des girofliers pour les 2 sites sur 2 ans (2012 et 2013)

Si l'on s'intéresse à chaque année, il n'y a pas de différence marquée entre les 2 sites en 2012 (Figure 18, $p\text{-value} = 0.09$). La proportion d'arbres n'ayant pas fleuri n'est pas significativement différentes entre les deux sites (75.0% à Tamatave et 61.7% à Fénérive-Est, $p\text{-value} = 0.17$). Pour l'année 2013, les arbres à Fénérive-Est ont significativement plus fleuri qu'à Tamatave (Figure 19 **Erreur ! Source du renvoi introuvable.**, $p\text{-value} < 0.001$), avec des arbres dans les classes 1 à 5 d'intensité de floraison, alors qu'à Tamatave les arbres n'ont pas (classe 1) ou très peu (classe 2)

fleuri. La proportion d'arbres n'ayant pas fleuri est aussi significativement différentes entre les deux sites (86.7% à Tamatave et 48.3% à Fénérive-Est, $p\text{-value} < 0.001$).

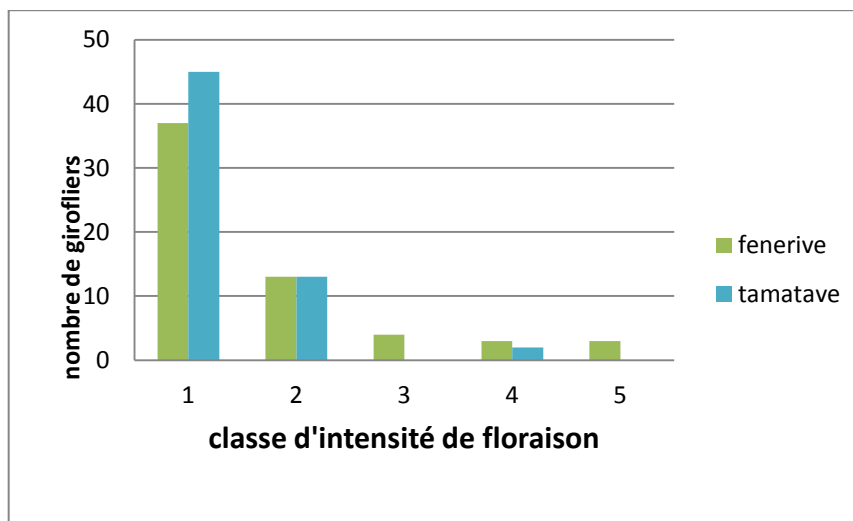


Figure 18: Distribution de l'intensité de floraison des girofliers pour les 2 sites en 2012

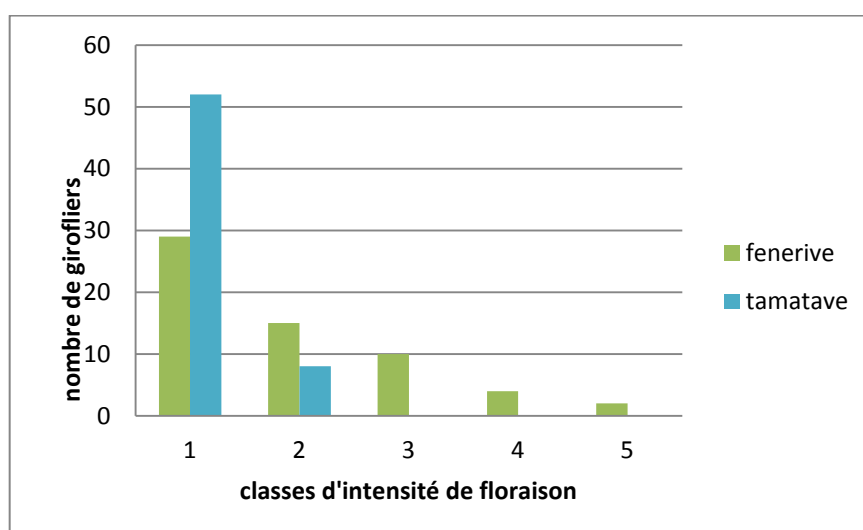


Figure 19: Distribution de l'intensité de floraison des girofliers pour les 2 sites en 2012

4.3.2. Influence de la zone de plantation

Pour chaque site et chaque année, la distribution de l'intensité de floraison des arbres n'est pas significativement différente en fonction de leur localisation, bas-fonds ou tanety (résultats non montrés), sauf à Fénérive-Est en 2012. Dans ce dernier cas, les distributions des intensités de floraison des arbres sont significativement différentes entre bas-fonds et tanety (Figure 20, $p\text{-value} = 0.008$),

avec des arbres qui ont plus fleuri en bas-fonds. La proportion d'arbres n'ayant pas fleuri est significativement différente entre les deux localisations : 46.7% dans les bas-fonds et 76.7% sur tanety ($P = 0.03$).

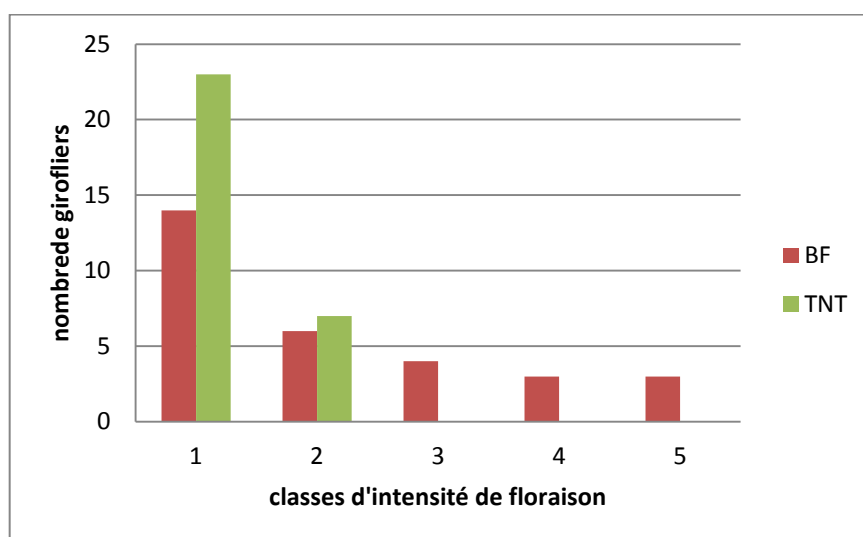


Figure 20: Distribution de l'intensité de floraison des girofliers selon leur zone de plantation à Fénérive-Est en 2012. BF : bas-fond ; TNT : tanety.

4.3.3. Influence de l'année

Pour chaque site, la distribution de l'intensité de floraison n'est pas significativement différente entre 2012 et 2013 (Figure 21 et Figure 22, Test Exact de Fisher, p -value = 0.14 à Tamatave et p -value = 0.40 à Fénérive-Est). Les tests de proportions n'ont pas montré de différence significative de la proportion d'arbres qui n'ont pas fleuri en 2012 et en 2013 dans chaque site (Figure 21, Fénérive-Est : 61.7% en 2012 et 48.3% en 2013, p -value = 0.20 ; Tamatave : 75.0% en 2012 et 86.7% en 2013, p -value = 0.16).

A Fénérive-Est, entre 2012 et 2013, les classes de 1 à 5 sont représentées. En 2012, la médiane se situe dans la classe 2 et en 2013, elle se situe à la classe 3, c'est-à-dire que les girofliers ont plus fleuri en 2013 qu'en 2012 à Fénérive. A Tamatave, la distribution de l'intensité de floraison est presque identique pour les deux années seules les classes 1 et 2 sont représentées, sauf pour 2012 où un arbre est représenté dans la classe 4 (Figure 22).

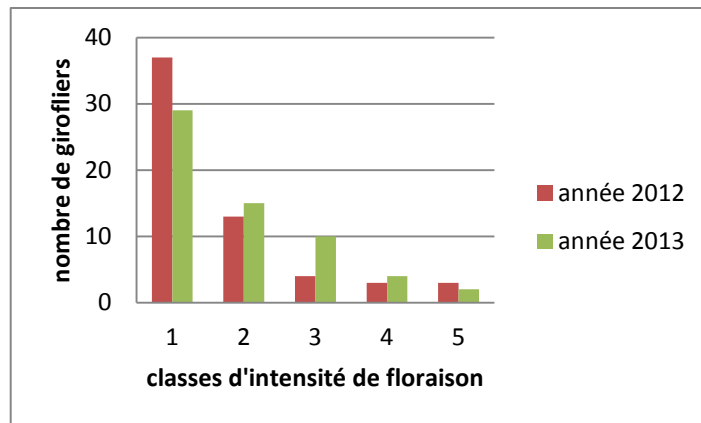


Figure 21: Distribution de l'intensité de floraison des girofliers sur 2 ans à Fénérive-Est

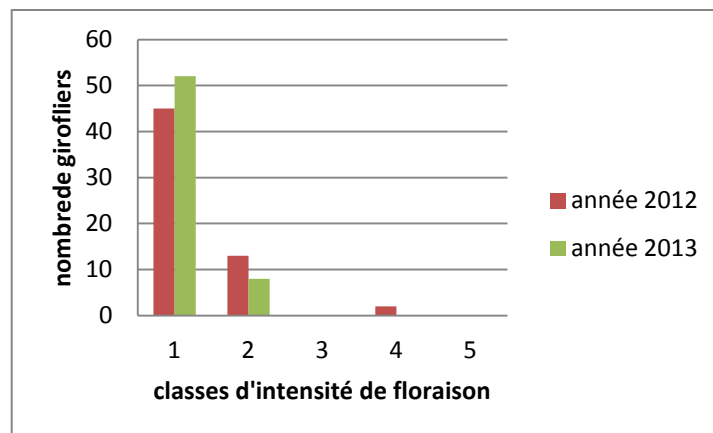


Figure 22: Distribution de l'intensité de floraison des girofliers sur 2 ans à Tamatave

4.3.4. Analyse des productions individuelles

4.3.4.1. Evolution du comportement florifère

L'analyse au niveau des parcelles a montré des différences significatives. Une analyse plus poussée à l'échelle de l'arbre a été réalisée pour étudier le comportement florifère de chaque arbre. Il apparaît une différence significative entre les deux sites de la distribution de l'évolution du comportement florifère de chaque arbre entre 2012 et 2013 (Figure 23, $p\text{-value} < 0.001$).

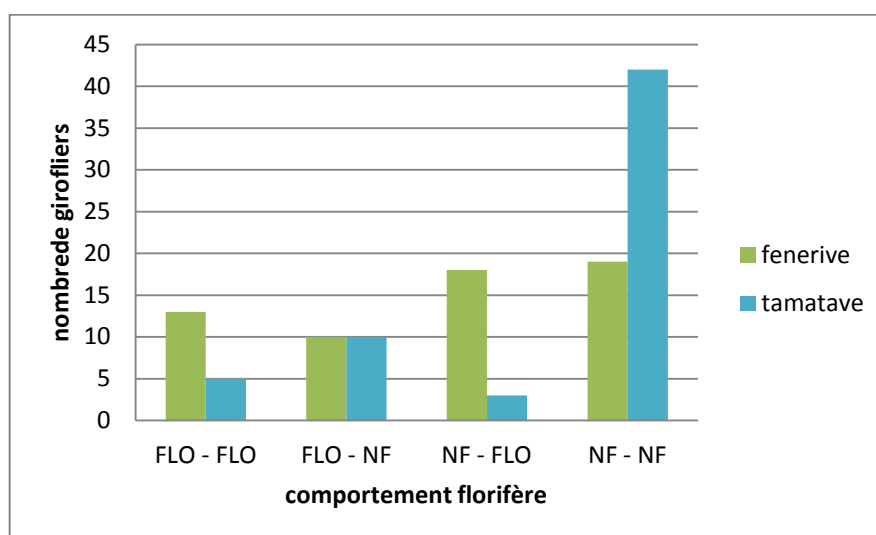


Figure 23: Distribution des classes d'évolution du comportement florifère de chaque arbre entre 2012 et 2013, global sur chacun des deux sites (FLO : arbre florifère (classes 2-6) ; NF : arbre non-florifère (classe 1))

Sur les deux sites, et principalement à Tamatave, ce sont les girofliers qui n'ont pas fleuri sur 2 ans qui sont majoritaires. Sur les 120 arbres étudiés sur les deux sites, 34% ont changé de comportement florifère entre 2012 et 2013. Ceux qui sont passés de non florifère à florifère représentent 17%, et ceux qui sont passés de florifère à non florifère représentent également 17%. A Tamatave, la plupart des arbres (70%) est située dans la classe NF-NF, ceux qui n'ont pas fleuri sur 2 ans. Il y a eu 8% des arbres qui ont fleuri deux années de suite, 16% des arbres qui n'ont pas fleuri en 2012 et fleuri en 2013 et 5% des arbres qui n'ont pas fleuri en 2012 et fleuri en 2013. A Fénérive-Est, la répartition des girofliers dans les quatre classes est plus homogène. Ce sont les arbres qui n'ont pas fleuri pendant les deux années successives qui sont les plus nombreux (31%). Les arbres qui n'ont pas fleuri en 2012 et qui ont ensuite fleuri en 2013 représentent 30% du total, les arbres florifères sur les deux années représentent 21% du total, et les arbres qui n'ont pas fleuri en 2012 mais qui ont fleuri en 2013 représentent 16% du total.

Les différences de distribution de l'évolution du comportement florifère des arbres entre 2012 et 2013 entre tanety et bas-fond, tous sites confondus, ont été également analysées. Les proportions des arbres qui ont fleuri deux années de suite (FLO-FLO) ont été comparées sur tanety et sur bas-fonds, il n'y a pas de différence significative (test de proportion : bas-fonds= 30% et tanety = 13% $p\text{-value} =$

0,21). La proportion de la classe des arbres qui ne fleurissent pas deux années de suite (NF-NF) n'a pas non plus montré de différence significative (test de proportion : bas-fonds= 23% et tanety=40%, p-value= 0,267).

4.3.4.2. Relations entre intensités de floraison

Pour compléter les résultats précédents qui ne s'intéressent qu'à l'occurrence de la floraison sur les arbres durant deux années successives, les relations entre l'intensité de la floraison sur chaque arbre entre 2012 et 2013 pour chaque site ont été étudiées par des représentations graphiques (Figure 24, Figure 25, Figure 26).

En considérant ensemble les données des deux sites (Figure 24), la majorité des arbres est regroupée dans le quart inférieur gauche du graphe avec une plus grande concentration au niveau du point 1-1 (NF 2012- NF 2013). Il y a le même nombre d'arbres aux points 1-2 (NF 2012 et Florifère peu fleuri 2013) et point 2-1 (peu fleuri 2012 et NF 2013), 14 et 15 respectivement. Les arbres qui ont peu fleuri sur les deux années sont au nombre de 7 (point 2-2). Le reste des arbres est éparpillé sur le graphe, avec un ou deux individus sur chaque point. Ce graphique montre que globalement, il n'y a pas de relation entre l'intensité de la floraison sur un arbre entre deux années successives.

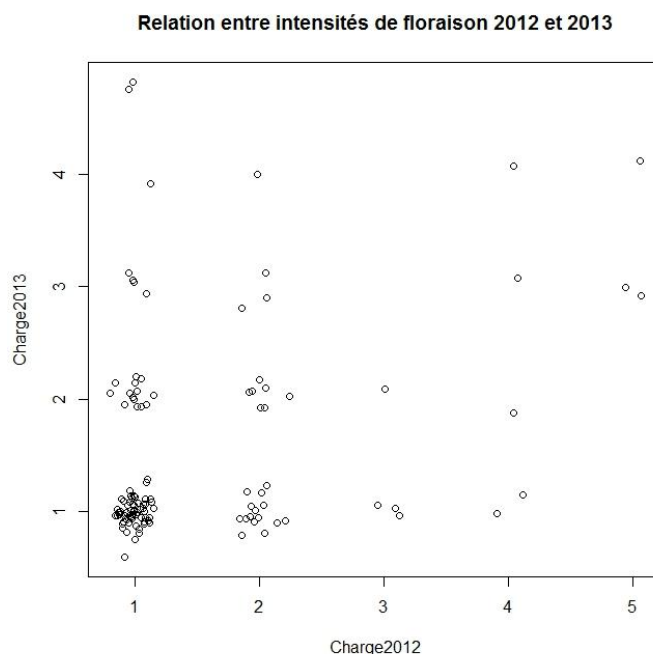


Figure 24: Relations entre l'intensité de floraison sur chaque arbre en 2012 et en 2013 sur les deux sites. Un bruit aléatoire a été ajouté aux données afin de rendre visibles tous les points

Pour approfondir ces analyses, ces relations ont été étudiées au niveau de chaque site. A Tamatave, la majorité des arbres est regroupée au niveau du point 1-1 (NF 2012-NF 2013). Les autres arbres sont concentrés au niveau des points 1-2 (NF 2012 – FLO < 10% 2013), 2-1 (FLO < 10% 2012- NF 2013) et 2-2 (FLO < 10% 2012 - FLO < 10% 2013). Il n'y a qu'un individu au point 4-2 et un seul

également au point 4-1. La production à Tamatave a été régulière et faible sur les deux années. La majorité des arbres qui n'ont pas fleuri en 2012 n'ont pas non plus fleuri en 2013 (Figure 25).

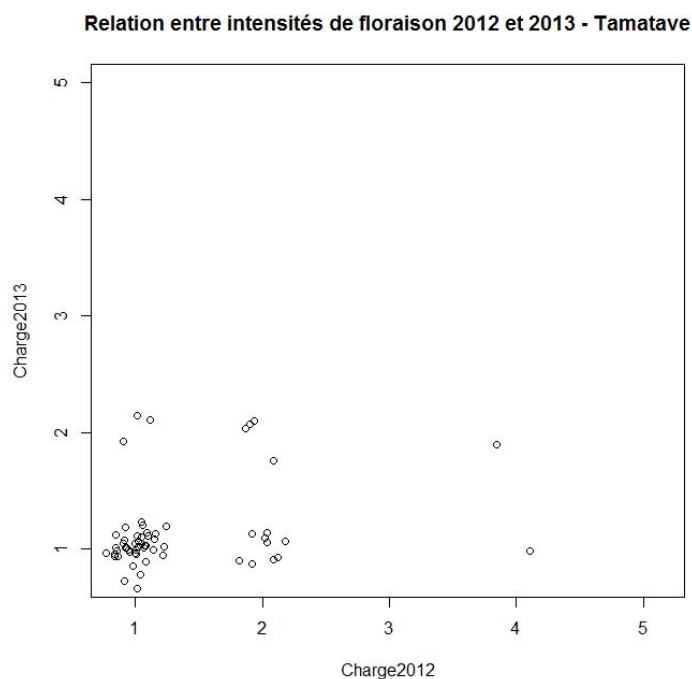


Figure 25: Relations entre l'intensité de floraison sur chaque arbre entre 2012 et en 2013 à Tamatave. Un bruit aléatoire a été ajouté aux données afin de rendre visibles tous les points visibles

Pour Fénérive, les arbres peuvent être considérés selon 4 zones de répartition (Figure 26). La zone 1, qui se trouve au niveau du point 1-1, regroupe les arbres qui n'ont pas fleuri sur les 2 ans. La zone 2, qui est une bande horizontale considérant les points allant de 2-1 à 5-1 sont les arbres qui ont fleuri en 2012 et pas fleuri en 2013. Le nombre des arbres dans cette zone est décroissant en fonction de leur intensité de floraison en 2012. La zone 3 est également une bande horizontale allant du point 1-2 au point 1-5. Ce sont les arbres qui n'ont pas fleuri en 2012 mais qui ont fleuri en 2013. Le nombre de ces arbres est décroissant en fonction de leur intensité de floraison en 2013. La zone 4, qui est la partie supérieure droite du graphe représente les arbres qui ont fleuri sur deux années successives. La position éparpillée des points ne suggère aucun pattern de floraison. L'existence de ces bandes montre une floraison hétérogène entre les arbres chaque année. Elle montre aussi qu'il n'y a pas de relation entre l'occurrence ou l'intensité de floraison une année et l'occurrence ou l'intensité de floraison l'année suivante sur un giroflier.

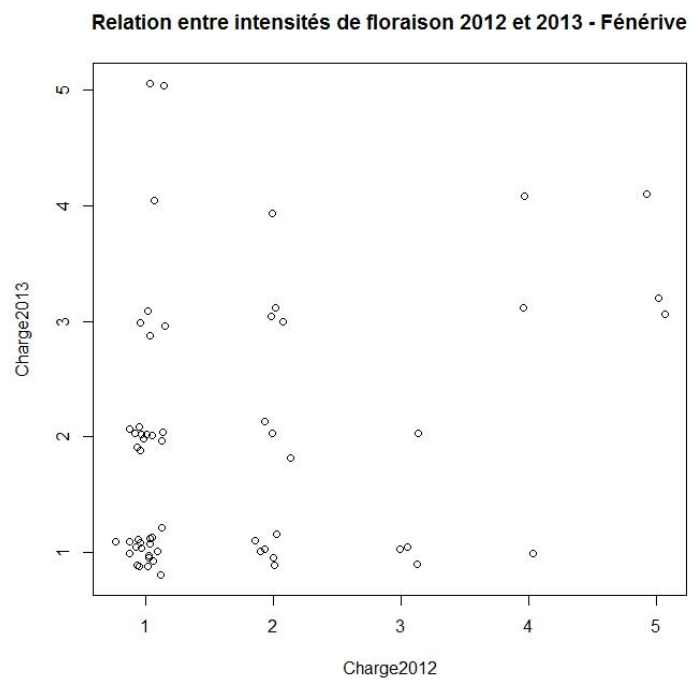


Figure 26: Relations entre l'intensité de floraison sur chaque arbre en 2012 et en 2013 à Fénérive. Un bruit aléatoire a été ajouté aux données afin de rendre visibles tous les points

5. DISCUSSION

L'étude de l'irrégularité de production chez le giroflier est une étude sur le long terme. Elle nécessite l'observation et l'analyse de plusieurs années successives pour pouvoir avancer des conclusions sur ce phénomène d'irrégularité. Les résultats de cette étude réalisée sur deux années apportent des connaissances originales sur la croissance végétative du giroflier. La croissance végétative et le développement sont fortement liés à la floraison (Dambreville, 2014), la croissance végétative étant une variable intermédiaire entre les facteurs influençant la croissance et la floraison (Renard, 2005).

5.1. Etude du développement et de la croissance des rameaux de girofliers

5.1.1. Stades phénologiques

Le premier apport de cette étude est la définition des stades phénologiques et reproducteurs du giroflier, qui n'existaient pas encore. Les stades phénologiques constituent une base pour réaliser d'autres études relatives à la plante étudiée en fonction de repères bien définis. Grâce aux stades phénologiques, l'effet de différents facteurs sur la plante peuvent être analysés tels que les variations des contraintes hydriques et édaphiques (Agusti et al. 1997), l'effet de la température sur la croissance des organes de la plante (Dambreville, 2013).

Plus particulièrement, la définition des stades phénologiques représente une étape importante pour l'étude de la croissance et du développement chez le giroflier. Les stades phénologiques constituent un outil qui servira à aborder plus en détail les interactions entre croissance végétative et reproduction (Dambreville, 2014, Schneiter et al., 1981). En outre, leur importance est déjà justifiée dans cette présente étude dans laquelle ils ont été utilisés pour l'étude de la croissance des feuilles. La vitesse de croissance des feuilles a pu être déterminée en fonction des stades phénologiques définis. Une autre étude relative au giroflier à Madagascar a également valorisé ces stades phénologiques par l'analyse du rendement en huile essentielle de girofle (quantité et qualité des différents composés chimiques) à partir des feuilles et des boutons floraux en fonction des stades phénologiques de ces derniers (Razafimamonjison, 2013).

Des suivis phénologiques continus ont été déjà été entrepris sur le giroflier sur deux ans. Des précisions au niveau temporel sur la phénologie pourront être apportées suite aux données récoltées. Les perspectives de recherche pour ce cas sont dirigées vers la définition du lien qui existe entre croissance végétative et floraison pour le cas particulier du giroflier.

5.1.2. Croissance des organes du giroflier

Pour la croissance en surface des feuilles, les surfaces finales moyennes sont les mêmes pour les feuilles considérées en été et celles considérées en hiver mais c'est la vitesse de croissance qui est différente : les feuilles atteignent plus vite leur taille et leur stade phénologique finaux en été qu'en hiver. La température moyenne durant la période de mesure en hiver était de 21,4 °C alors que celle durant l'été était de 26,9°C. Le développement des feuilles se fait donc plus rapidement en été, ce qui donne plus rapidement de biomasse à l'arbre lors de cette saison. Les facteurs climatiques et notamment la température, ont donc une influence sur la croissance des feuilles de girofliers, rejoignant les travaux de Way et al., sur les arbres tropicaux et tempérés (2010), Dambreville et al., (2013) sur manguier, et de Gallagher(1978) sur le blé. La première hypothèse, selon laquelle les facteurs climatiques ont une influence sur la floraison est partiellement vérifiée, en tenant compte du lien entre croissance végétative et floraison.

Le giroflier est une plante à croissance très lente, comparée à d'autres espèces tropicales comme le manguier (Dambreville, 2014), et l'eucalyptus qui est également un arbre de la famille des Myrtaceae (Myers, 1996). Les espèces tropicales bénéficient des conditions climatiques propices qui favorisent une croissance rapide dans leur milieu de développement. Les axes du giroflier croissent également de façon lente, contrairement à d'autres espèces comme le manguier. L'émission de nouveaux nœuds est très lente pour le giroflier (quelques mois) alors que pour le manguier, l'émission d'un flush (vague de croissance végétative ou florifère) est réalisée en quelques jours (Dambreville, 2013).

Les causes de cette lenteur n'ont pas encore été étudiées et méritent une attention particulière. Comme le giroflier produit de l'eugénol, la compétition entre d'une part la croissance et le développement de la plante et d'autre part la synthèse de ce composé constitue une piste qui pourrait expliquer la faible vitesse de croissance des organes de cet arbre. Cette hypothèse mérite un approfondissement.

5.2. Caractérisation de l'irrégularité de production

Un effet site est constaté pour la charge en clous sur les 2 ans. Les girofliers à Fénérive ont plus fleuri qu'à Tamatave sur les 2 années. Ces résultats, en montrant un effet site, suggèrent l'hypothèse d'un effet climat, qui a été différent au cours des deux années de suivi d'après nos données.

Dufournet (1967) et De Haut de Sigy (1968) ont émis l'hypothèse que la pluviométrie de l'année n durant les mois de septembre à novembre pouvait influencer la floraison de l'année $n+1$. Si la quantité de pluies était inférieure à 300 mm pour l'année n , la floraison serait bonne pour l'année $n+1$. Les valeurs de la pluviométrie sont les suivantes (Tableau 4 **Erreur ! Source du renvoi introuvable.**) :

Tableau 4: Pluviométrie à Tamatave et Fénérive Est de Septembre à Novembre en 2012 et 2013

Pluviométrie Tamatave (mm)		Pluviométrie Fénérive Est (mm)	
2012	2013	2012	2013
401,7	371,1	256,3	235,5

Les résultats obtenus rejoignent ceux de ces auteurs car la pluviométrie pour Tamatave en 2012 a été supérieure à 300 mm, et l'année 2013 a été une année de mauvaise floraison. Pour le cas de Fénérive-Est, la pluviométrie a été inférieure à 300 mm, et 2013 a été une année de moyenne floraison. Cependant, il sera important de poursuivre ces travaux sur plusieurs années et/ou sites pour valider ces résultats.

Le giroflier a besoin d'un climat chaud et humide, sans saison sèche prolongée pour fleurir (Maistre, 1955). Mais il requiert également un seuil de pluviométrie à ne pas dépasser pendant une certaine période d'après nos résultats. Ces résultats suggèrent que la pluviométrie a bien un effet sur la floraison, confortant ainsi notre hypothèse 1.

5.2.1. Analyse des productions individuelles

Les arbres observés pour notre étude ont montré des comportements individuels marqués en ce qui concerne l'évolution du comportement florifère. Pour des arbres d'un même site et d'une même zone de plantation, c'est-à-dire soumis aux mêmes conditions extérieures, les comportements individuels diffèrent d'un arbre à l'autre sur deux ans. Sur un même site, cohabitent des arbres qui ne fleurissent pas sur deux années de suite et des arbres qui fleurissent deux années de suite.

Il n'y a pas de relation entre occurrence et intensité de floraison sur deux années successives. Ces résultats montrant des comportements individuels marqués des arbres appuient notre hypothèse 2 selon laquelle des facteurs endogènes ont une influence sur la floraison du giroflier. Une observation à une échelle plus précise, au niveau des axes qui ont porté des fleurs et des axes qui n'en n'ont pas

porté, sur plusieurs cycles est nécessaire pour comprendre le fonctionnement florifère de chaque arbre. La nature et le fonctionnement de ces facteurs endogènes méritent cependant d'être approfondis par l'analyse détaillée de l'architecture du giroflier.

Un effet site a également été rencontré pour l'évolution du comportement individuel des arbres. A Tamatave, la production a été régulière et faible sur deux années avec quelques individus qui se sont démarqués pour le comportement florifère. A Fénérive-Est, l'inexistence de relation entre occurrence et intensité de floraison est plus remarquée qu'à Tamatave. Les arbres de ce site ont montré des comportements différents sur les deux ans. Cette différence peut être expliquée par des effets combinés des facteurs endogènes et des facteurs extérieurs sur la floraison.

6. CONCLUSION

Le giroflier est un arbre qui joue un rôle important dans l'économie malgache. Ses produits principaux : les clous et l'essence de girofle sont des sources de devises importantes. L'adaptation du giroflier aux conditions malgaches (climat, altitude, sols) risque cependant de ne plus faire le poids face aux nombreuses contraintes (vieillesse des plantations, andreta) auxquelles cet arbre est soumis, dont l'irrégularité de production. Ce phénomène fréquent chez beaucoup d'espèces fruitières et remarqué chez le giroflier depuis son introduction n'a pas encore été approfondi, malgré les grandes variations qu'il provoque en termes de production et les conséquences économiques qui en résultent. Sur la côte Est de la grande île, où c'est une culture de rente principale, les producteurs subissent cette irrégularité sans en connaître les raisons et sans pouvoir réagir.

Cette étude menée à Tamatave et Fénérive Est a commencé la recherche sur le fonctionnement du giroflier et l'irrégularité de sa production. Les dispositifs mis en place sur les deux zones ont été réalisés pour premièrement se doter des outils et des connaissances pour mieux étudier l'irrégularité de production, et deuxièmement pour étudier l'effet de différents facteurs sur l'irrégularité de production chez le giroflier. Cette étude a été réalisée à plusieurs échelles, allant de la parcelle à l'organe, en passant par l'arbre. Elle a pris en compte les hypothèses suivantes : des facteurs externes et endogènes influencent la floraison chez le giroflier. Cette étude a permis d'apporter de premiers résultats originaux sur le giroflier en tant que plante, la majorité des études étant portées sur l'huile essentielle de girofle, l'eugénol et ses propriétés. Un dispositif qui peut être utilisé pour apprécier l'irrégularité de production sur le long terme a été mis en place. Le premier apport de cette étude est la définition des stades phénologiques végétatifs et reproducteurs du giroflier. Les premiers résultats font apparaître à la fois une influence de facteurs externes et de facteurs propres à la plante sur la floraison. Pour cette étude, les facteurs externes impliqués sont la température et la pluviométrie. La température agit au niveau de l'augmentation de la vitesse de croissance des organes de la plante. La pluviométrie, en termes de période et de quantité, a un effet sur la floraison.

Cette étude a été un premier pas pour démontrer le lien entre influence des facteurs extérieurs et croissance végétative. De plus, l'observation sur le long terme de la floraison de cette espèce permet de apporter des réponses sur le pattern d'irrégularité du giroflier en tenant compte de données localisées précises. La réalisation de cette première étude a permis de faire ressortir la nécessité d'approfondir les pistes de recherche suivantes : une analyse plus détaillée des facteurs climatiques et environnementaux sur l'occurrence et l'intensité de la floraison du giroflier ; l'influence de la taille des branches pour la distillation des feuilles sur l'équilibre carboné de l'arbre et la rejuvénalisation de la canopée ; les liens entre le développement architectural, en termes structurel et temporel de l'arbre et la floraison ; la compétition entre d'une part la croissance et la reproduction, et d'autre part la synthèse d'eugénol.

7. BIBLIOGRAPHIE

- Agusti M., Zaragoza S., Bleiholder H., Buhr L., Hack H., ; Klose R., Staub R., (1997), Adaptation of the BBCH scale for the description of Citrus fruits' phenological stages, *Fruits*, **52** : 287-295
- Antunes W.C., Pompelli M.F., Carretero D.M., DaMatta F.M., (2008), Allometric models for non-destructive leaf area estimation in coffee (*Coffea arabica* and *Coffea canephora*), *Annals of Applied Biology* ,**153** : 33 – 40
- BCM : Banque Centrale de Madagascar, www.banque-centrale.mg, Statistiques sur les exportations de Madagascar en 2010, dernière consultation : septembre 2014
- Dambreville A., Lauri P-E., Normand F., Guédon Y., (2014), Analysing growth and development of plants jointly using developmental growth stages, *Annals of Botany*,**115** (1): 93-105
- Dambreville A., Lauri P-E., Trottier C., Guédon Y. and Normand F., (2013), Deciphering structural and temporal interplays during the architectural development of mango trees, *J. Exp. Bot*, **64**:2467-2480
- Danthu P., Penot E., Ranoarisoa K. M.;, Rakotondravelo J-C., Michel I., Tiollier M., Michels T., Normand F., Razafimamonjison G, Fawbush F., Jahiel M., (2014), The clove tree of Madagascar : a success story with an unpredictable future, *Bois et forêts des tropiques* , **320**: 83-96
- De Haut de Sigy G., (1967), Contribution à l'étude de la production de clous de girofle à Madagascar en rapport avec la pluviométrie. Institut de Recherches Agronomiques à Madagascar, Document n° 151, 11 p. + annexes.
- Demangel A., (2011), Faisabilité de la mise en place d'une Indication Géographique sur le Clou de girofle à Madagascar, Mémoire de fin d'études, ISTOM Ecole supérieure d'Agro-Développement International
- Donque, (1975), Les cyclones tropicaux malgaches, Madagascar Revue Géographique, 27
- Dufournet R., (1968). Le giroflier et sa culture. Bulletin de Madagascar, **262** : 216-279
- FAOSAT, (2014). Production. Trade. [<http://faostat3.fao.org>]
- François E., (1928), La culture du giroflier à Madagascar. *Revue de Botanique appliquée et d'Agriculture coloniale*, **8** : 693-696
- François E., (1936), Giroflier et girofle. *Revue de Botanique appliquée et d'Agriculture coloniale*, **16** : 589-608, 892-907
- Gaaliche B., Lauri P-E., Trad M., Costes E. and Mars M. (2011), Interactions between vegetative and generative growth and between crop generations in fig tree (*Ficus carica* L.), *Sci. Hort*, **131**:22-28

- Gallagher J. N., (1979), Field Studies of Cereal Leaf Growth, I. Initiation and expansion in relation to temperature and ontogeny, *J. Exp. Bot.*, **30**: 625-636
- Ghedira K., (2010), "Syzygium aromaticum (L.) Merr. & Perry (Myrtaceae) Giroflier", *Phytothérapie*, **8** :37-43
- Goldschmidt E.E. and Golomb A., (1982). The carbohydrate balance of alternate-bearing citrus trees and the significance of reserves for flowering and fruiting. *J.Amer, Soc.Hort.Sci.*, **107**: 206-208
- Goldschmidt E.E. and Samach A., (2004). Aspects of flowering in fruit trees, *Acta Hort*, **653**: 23-27
- Goldschmidt E.E., Tamim M. and Goren R., (1997), Gibberellins and flowering in citrus and other fruit trees: a critical analysis, *Acta Hort*, **463**: 201-208
- Goldschmidt EE, (2005), Regolazione dell'alternanza di produzione negli alberi da frutto, *Italus Hortus*, **12**(1): 11-17
- Golomb A. and Goldschmidt E.E., (1987), Mineral nutrient balance and impairment of the nitrate-reducing system in alternate-bearing 'Wilking' mandarin trees. *J.Amer, Soc.Hort.Sci*, **112**: 397-401
- INSTAT, Institut National de la Statistique Malgache, www.instat.mg, Statistiques sur les exportations de produits agricoles de Madagascar, dernière consultation : septembre 2014
- Jahiel M., (2010), Notes sur les agro-exportations malgaches. Clou de girofle. Centre technique Horticole de Tamatave, Tamatave. 4p.
- Chaieb K., Hajlaoui H., Zmantar T., Ben Kahla-Nakb A., Rouabhia M., Mahdouani K. and Bakhrouf A., (2007), The Chemical Composition and Biological, Activity of Clove Essential Oil, *Eugenia caryophyllata* (Syzygium aromaticum L.Myrtaceae): A Short Review, *Phytother. Res.* , **21**: 501–506
- Lauri, P-E. and Trottier, C.,(2004), Patterns of size and fate relationships of contiguous organs in the apple (*Malus domestica*) crown, *New Phytol*, **163**:533–546
- Lavee S. ,(1996), Biology and physiology of the olive. pp 61-105. In: World Olive Encyclopaedia, Plaza and Janes Editores, S.A, 08006 Barcelona, Spain.
- Ledreux A., (1928), Le giroflier dans les régions de Fénérive, Soanierana et Sainte-Marie. *Bulletin économique de Madagascar*, **1**: 38-45
- Maistre J., (1955), Le giroflier à Madagascar et Zanzibar. *L'Agronomie tropicale*, **10** : 413-448
- Maistre J., (1964), Le clou de Girofle. In : Les plantes à épices. G.-P. Maisonneuve, Larose Éditeur, France, 77-124

- Michels T., Bisson A., Ralaidovy V., Rabemananjara H., Jahiel M., Malézieux E., (2011), Horticultural agroforestry systems in the humid tropics: analysis of clove tree-based systems in Madagascar, *Acta Horticulturae*, **894**: 161-168
- Monselise S.P., Goldschmidt E.E., (1982), Alternate bearing in fruit trees, *Horticultural Reviews*, **4**: 128-173
- Montero F. J., de Juan J.A., Cuesta A., Brasa A .,(2000), Nondestructive methods to estimate leaf area in *Vitis vinifera* L., *HortScience* ,**35** : 696 – 698
- Myers B. J., Theiveyanathan S., O'Brien N. D., Bond W. J., (1996), Growth and water use of *Eucalyptus grandis* and *Pinus radiata* plantations irrigated with effluent, *Tree Physiology* ,**16** : 211-219
- Neilsen, J.C. and F.G.Dennis, Jr., (1998), Effects of seed number, fruit removal, bourse shoot length and crop density on flowering in 'Spencer Seedless' apple, *Acta Hort*, **527**: 137-146
- Normand, F., Pambo Bello, A.K., Trottier, C., and Lauri, P-E., (2009), Is axis position within tree architecture a determinant of axis morphology, branching, flowering and fruiting? An essay in mango, *Ann. Bot*, **103**:1325-1336
- ONE (2009), *Tableau de bord environnemental Région Analanjirofo*
- Pharis, R.P. and R.W. King, (1985), Gibberellins and reproductive development in seed plants. *Ann. Rev. PlantPhysiol*, **36**: 517-568
- Plummer, J.A., M.G.Mullins, and J.J.Vine, (1989), The role of endogenous hormones in shoot emergence and abscission in alternate bearing Valencia orange trees, *Acta Hort.*, **239**:341-344
- Ramanantsoavina G., (1971). Aperçu sur quelques produits agricoles malgaches (café, vanille, girofle, coton). *Terre Malgache - Tany malagasy*, **10** : 199-230
- Ranaivonasy, J., Ratsirarson, J., Ramamonjisoa, B., Rasolofomampianina, D., Rakotoarisoa, J. A., Dewar, R. E., Silander, J., A., (2003), *Dynamique de la couverture forestière de la Région d'Analanjirofo : Aspects historiques, écologiques et socio-économiques*, Antananarivo, Centre d'Information et de Documentation Scientifique et Technique.
- Kumar R., Sharma P. K., Mishra P. S., (2012), A Review on the Vanillin derivatives showing various Biological activities, *International Journal of PharmTech Research*, **4** : 266-279
- Razafimamonjison G., Jahiel M., Ramanoelina P., Fawbush F., Danthu P., (2013), Effects of phenological stages on yield and composition of essential oil of *Syzygium aromaticum* buds from Madagascar, *International Journal of Basics and Applied Sciences*, **2**: 312-318
- Renard A.,(2005), Effet de la charge en fruits sur la croissance végétative au cycle suivant de sept variétés de manguier à La Réunion, Insitut National d'Horticulture-Angers, Ecole Nationale d'Ingénieurs de l'Horticulture et du Paysage, Mémoire de fin d'études.

- Schneider A., Miller, J. F., (1981). Description of Sunflower Growth Stages, *Crop Sci.*, **21**:901–903
- Teuscher E., Anton R., Lobstein A., (2005). Girofle. In *Plantes aromatiques*. Collection TEC &DOC, Editions Lavoisier, Cachan. 266-272
- Verwijst T., Wen D.-A., (1996), Leaf allometry of *Salix viminalis* during the first growing season, *Tree Physiology*, **16** : 655 – 660
- Way D.A. , Oren R., (2010), Differential responses to changes in growth temperature between trees from different functional groups and biomes: a review and synthesis of data , *Tree Physiology*, **30**: 669-688

TABLE DES MATIERES

1. INTRODUCTION	1
2. PROBLEMATIQUE ET HYPOTHESES.....	3
2.1. Problématique.....	3
2.2. Hypothèses	7
2.3. Objectifs	8
3. METHODOLOGIE.....	9
3.1. Milieu d'étude	9
3.1.1. Localisation géographique des expérimentations.....	9
3.1.2. Milieu physique	10
3.1.2.1.Climat.....	10
a)Pluviométrie	10
b)Température	10
c)Cyclones.....	11
3.1.2.2Pédologie.....	12
3.2. Dispositif expérimental	12
3.2.1. Acquisition des données climatiques.....	12
3.2.1. Enregistrement de la pluviométrie.....	12
3.2.1.2.Enregistrement de la température.....	12
3.2.2. Etude du développement et de la croissance des rameaux de girofliers	14
3.2.2.1Définition des stades phénologiques	14
3.2.2.2.Suivi de la croissance des feuilles	15
a)Description du dispositif	15
b)Acquisition des données	15
c)Traitement et analyse des données	15
3.2.2.3.Suivi de la croissance des axes.....	16
a)Description du dispositif	16
b)Acquisition des données	17
c)Traitement et analyse des données	17
3.2.3. Caractérisation de l'irrégularité de production.....	17
3.2.3.1.Description des parcelles.....	17
3.2.3.2.Description du dispositif	17
3.2.3.3.Traitement et analyse des données	18
3.2.4. Cadre opératoire	20
4. RESULTATS	22

4.1.	Données climatiques.....	22
4.1.1.	Pluviométrie	22
4.1.2.	Température.....	22
4.2.	Etude du développement et de la croissance des rameaux de girofliers.....	24
4.2.1.	Stades phénologiques	24
4.2.1.1.	Stades phénologiques végétatifs.....	24
4.2.1.2.	Stades phénologiques reproducteurs	26
4.2.2.	Croissance des feuilles	28
4.2.2.1.	Evolution de la surface des feuilles.....	28
4.2.2.2.	Rapport longueur/largeur limbe	29
4.2.2.3.	Vitesse moyenne d'extension.....	30
4.2.3.	Croissance des axes	31
4.2.3.1.	Allongements des axes	31
4.2.3.2.	Augmentation de nombre de nœuds.....	32
4.3.	Caractérisation de l'irrégularité de production.....	33
4.3.1.	Influence du site	33
4.3.2.	Influence de la zone de plantation	34
4.3.3.	Influence de l'année	35
4.3.4.	Analyse des productions individuelles	37
4.3.4.1.	Evolution du comportement florifère	37
4.3.4.2.	Relations entre intensités de floraison.....	38
5.	DISCUSSION.....	41
5.1.	Etude du développement et de la croissance des rameaux de girofliers.....	41
5.1.1.	Stades phénologiques	41
5.1.2.	Croissance des organes du giroflier.....	42
5.2.	Caractérisation de l'irrégularité de production.....	43
5.2.1.	Analyse des productions individuelles	43
6.	CONCLUSION.....	45
7.	BIBLIOGRAPHIE	46